



TUGAS AKHIR - TE091399

**ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN MEKANISME
PELEPASAN BEBAN DI PT. NEWMONT NUSA TENGGARA**

Ilyas Kurniawan
NRP 2211 106 089

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TE091399

***TRANSIENT STABILITY ANALYSIS AND LOAD SHEDDING
MECHANISM AT PT. NEWMONT NUSA TENGGARA***

Ilyas Kurniawan
NRP 2211 106 089

Supervisor

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

***DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2014***

**ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN MEKANISME
PELEPASAN BEBAN DI PT NEWMONT NUSA TENGGARA**

TUGAS KAHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleg Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
NIP : 196404051990021001

Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng
NIP : 197309271998031004

**SURABAYA
JANUARI, 2014**

ANALISIS STABILITAS TRANSIEN DAN MEKANISME PELEPASAN BEBAN DI PT. NEWMONT NUSA TENGGARA

Ilyas Kurniawan
2211106089

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M. Eng.

ABSTRAK

PT Newmont Nusa Tenggara merupakan industri yang bergerak di bidang pertambangan. Untuk itu sangat diperlukan sistem kelistrikan yang mampu mendukung kelancaran proses produksi. Dalam memenuhi kebutuhan kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara memiliki pembangkit yang terdiri dari 4 unit generator uap dengan tiap generator berkapasitas 34 MW, 9 unit mesin diesel berkapasitas 5 MW dan beban harian rata – rata 110 MW. Mengingat mulai dari di dirikan hingga saat ini stabilitas transien pada *plant* belum dianalisis secara mendalam, sehingga perlu dilakukan studi kestabilan transien untuk mengetahui keandalan sistem saat terjadi gangguan transien. Pada tugas akhir ini analisis difokuskan pada analisis kestabilan transien jika terjadi pelepasan beban, generator *outage*, motor *starting*, dan hubung singkat. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa lepasnya salah satu atau dua generator dari empat unit generator beroperasi dengan pembebanan desain beban penuh (~112.177MW) menyebabkan perlu adanya skema *load shedding*, karena frekuensi dibawah standar operasi. Selain itu, gangguan hubung singkat pada bus tegangan tinggi 150 kV menyebabkan sistem blackout untuk itu dilakukan kliring agar sistem kembali stabil. Dan pada tegangan menengah 11kV, 6.6kV dan 2.2 kV menyebabkan frekuensi turun sehingga harus dilakukan *kliring* atau pelepasan beban sesaat agar sistem kembali stabil. Dalam kasus *short circuit* tegangan 33kV perlakuan *kliringi gagal* mengembalikan sistem stabil sehingga bus yang mengalami *short circuit* harus dilepas dari sistem. Motor *starting*, ketika akan melakukan *starting* motor 50-PU-M1 1500kW direkomendasikan dilakukan setting droop awal pada generator *coal plant* saat 4 unit generator *running*.

Kata Kunci : kestabilan transien, gangguan besar, pelepasan beban.

Halaman ini sengaja dikosongkan

TRANSIENT STABILITY ANALYSIS AND LOAD SHEDDING MECHANISM AT PT. NEWMONT NUSA TENGGARA

Ilyas Kurniawan
2211106089

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M. Eng.

ABSTRACT

PT Newmont Nusa Tenggara is in the mining industry. Indispensable to the electrical system that is able to support the production process. To meet the electricity needs of PT Newmont Nusa Tenggara has a plant consisting of 4 units each steam generator with 34 MW generator berkapsitas, 9 units of machines diesel with a capacity of 5 MW and average daily load - average 110 MW. Given the start of today was founded transient stability of the plant has not been analyzed in depth, so that the transient stability studies need to be done to determine the reliability of the system during a transient disturbance. In this final analysis focused on transient stability analysis in case of load shedding, generator outage, motor starting and short circuit. From the simulation results show that the loss of one or two generators of empat generator units operate with a full load design load ($\sim 112.177\text{MW}$) led to the need for load shedding scheme, since the frequency of substandard operations. In addition, the short circuit at 150 kV high-voltage bus causing a blackout system for clearing that was done on the system back stabil. Dan medium voltage 11kV, 6.6kV and 2.2 kV causes the frequency down so it must be done clearing or load shedding while to make the system stable again . In case of short circuit voltage of 33kV kliringi treatment failed to restore stability so that the bus system is experiencing a shor circuit must be removed from the system. Motor starting, when starting the motor will perform a 50-PU-M1 1500kW recommended setting droop done early on when the generator coal plant running four generator units.

Keyword: transient stability, big interference, load sheeding.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil 'Alamiin, terucap syukur kehadiran ALLAH SWT atas limpahan rahmat dan karunia yang tak terkira terutama berupa kekuatan, kesabaran dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

“Analisis Stabilitas Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Newmont Nusa Tenggara.”

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT dan Bapak Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
2. Bapak Sumardi dan *Line Crew Team* dari departemen *Power Plant PT. Newmont Nusa Tenggara* atas data yang diberikan untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak.

Surabaya, Juni 2014

Penulis

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Permasalahan	1
1.3	Tujuan	2
1.4	Metodologi	2
1.5	Sistematika	3
1.6	Relevansi	5

BAB 2 KESTABILAN SISTEM TENAGA

2.1	Definisi Kestabilan Sistem Tenaga	5
2.2	Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga	5
	2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor	6
	2.2.2 Kestabilan Tegangan	6
	2.2.3 Kestabilan Frekuensi	7
2.3	Hubungan Sudut Rotor – Daya	7
2.4	Kestabilan Transien	10
2.5	Persamaan Ayunan	12
2.6	Kestabilan Multi Mesin	13
2.7	Menentukan Stabilitas Transien dengan Metode Criteria Sama Luas	17
2.8	Konsep Waktu Pemutusan Kritis	17
2.9	Gangguan yang Mempengaruhi Kestabilan Transien	18
	2.9.1 Hubung Singkat	18
	2.9.2 Penambahan Beban Secara Tiba-Tiba	19
	2.9.3 Starting Motor	19

2.10	Pengaturan Frekuensi	20
2.11	Pelepasan Beban	22
2.12	Standa yang Berkaitan dengan Efek Transien	23
2.12.1	Standar <i>Under Volatge</i>	23
2.12.2	Standar <i>Volatge</i> Sagging	23

BAB 3SISTEM KELISTRIKAN PT NEWMONT NUSA TENGGERA

3.1.	Metode pelaksanaan Studi.....	26
3.2.	Sistem Kelistrikan di PT Newmont Nusa tenggara	27
3.3.	Kapasitas Pembangkit dan Kategori Pembebanan	29
3.4.	Sistem Distribusi.....	32
3.5.	Data Beban	37
3.6.	Pemodelan Sistem	38
3.6.1	Model R angkaian Generator.....	38
3.6.2	Konstanta Inertia.....	40
3.6.3	Model Eksitasi	40
3.6.4	Model Governor.....	42

BAB 4SIMULASI DAN ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DIPT. PERTAMINA RU VI BALONGAN

4.1	Pemodelan sistemkelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara	45
4.2	Total pembangkitandanbebanPT Newmont Nusa Tenggara.....	45
4.3	Kasus Operasi	46
4.4	Simulasi dan Analisisi Kestabilan Transien.....	47
4.4.1	Studi kasus 1 : Tiga generator <i>coal Plant</i> beroperasi dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). Satu generator outage dari sistem ($t=2s$)	47
4.4.2	Studi kasus 2 : Tiga generator <i>coal Plant</i> beroperasi Dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). Satu generator utage dari sistem dan <i>load shedding</i> ($t=2s$) ..	49
4.4.3	Studi kasus 3 : Dua generator <i>coal Plant</i> beroperasi dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). Dua generator outage dari sistem($t=2s$)	52
4.4.4	Studi kasus 4 : Dua generator <i>coal Plant</i> beroperasi dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). Dua generator outage dari sistem dan <i>load shedding</i> ($t=2s$)	54
4.4.5	Studi kasus 5 : Empat generator <i>coal Plant</i> beroperasi dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). <i>Short</i>	

<i>Circuit</i> Bus 150 KV(58-TM102) dan <i>load shedding</i> ($t=2s$) .	58
4.4.6 Studi kasus 6 : Empat generator <i>coal Plant</i> beroperasi Dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). <i>Short</i> <i>Circuit</i> Bus 33 KV(17-DL_201) dan <i>load shedding</i> ($t=2s$) .	60
4.4.7 Studi kasus 7 : Empat generator <i>coal Plant</i> beroperasi Dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). <i>Short</i> <i>Circuit</i> Bus 11 KV(30-SG302) dan <i>load shedding</i> ($t=2s$) .	63
4.4.8 Studi kasus 8 : Empat generator <i>coal Plant</i> beroperasi Dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). <i>Short</i> <i>Circuit</i> Bus 6.6 KV(62-MC401) dan <i>load shedding</i> ($t=2s$) .	66
4.4.9 Studi kasus 8 : Empat generator <i>coal Plant</i> beroperasi Dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). <i>Short</i> <i>Circuit</i> Bus 3.3 KV(26-MC501) dan <i>load shedding</i> ($t=2s$) .	68
4.4.10 Studi kasus 8 : Empat generator <i>coal Plant</i> beroperasi dengan <i>loading category</i> desain (112,177 MW). <i>Motor</i> 15.000 kW (50-PU-M1) <i>starting</i> ($t=2s$) .	70
4.4.10.A. Simulasi <i>starting motor</i> tanpa <i>load shedding</i>	70
4.4.10.B Simulasi Simulasi <i>starting motor</i> dengan <i>load</i> <i>shedding</i> 6 langkah (<i>load shedding</i> tahap 1)	73
4.4.10.C Simulasi Simulasi <i>starting motor</i> dengan <i>load</i> <i>shedding</i> 6 langkah (<i>load shedding</i> tahap 2)	76
4.4.10.D Simulasi Simulasi <i>starting motor</i> dengan <i>load</i> <i>shedding</i> 6 langkah (<i>load shedding</i> tahap 3)	78

BAB 5PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82

DAFTAR PUSTAKA	83
-----------------------------	----

BIODATA PENULIS	85
------------------------------	----

LAMPIRAN (*Single Line Diagram*)

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Skema Load Shedding Tiga Langkah.....	25
Tabel 2.2 Skema Load Shedding Enam Langkah.....	25
Tabel 2.3 <i>Voltage Sagging</i> Menurut Standar SEMI F47	26
Tabel 3.1 Rating Generator <i>Coal Plant</i>	35
Tabel 3.2 Rating Diesel Generator	35
Tabel 3.3 Impedansi Generaor generator <i>Coal Plant</i> dan <i>Diesel Plant</i>	35
Tabel 3.4 Data Transformator <i>Step-Up</i>	36
Tabel 3.5 Data Transformator <i>Step-Down</i>	36
Tabel 3.6 Data parameter Saluran Transmisi.....	36
Tabel 3.7 Data <i>Lump Load</i> di PT Newmont Nusa Tenggara.....	37
Tabel 3.8 Data Parameter Beban Motor di PT Newmont Nusa Tenggara	40-41
Tabel 3.9 Data Reaktansi Generator 5X-GE-TG100	42
Tabel 3.10 Data <i>time constant</i> 5X-GE-TG100	42
Tabel 3.11 Data <i>time constant</i> 57-GE-TG-DG100X.....	42
Tabel 3.12 Data Reaktansi Generator 57-GE-TG-DG100X.....	43
Tabel 3.13 Parameter Eksitasi HPC	44-45
Tabel 3.14 Parameter Governor tipe GP	46
Tabel 4.1 Total Pembangkitan dan Beban PT Newmont Nusa Tenggara dengan kategori pembebanan sesuai desain beban penuh	53

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Klasifikasi kesatbilan sistem tenaga	6
Gambar 2.2 Model sistem dua mesin	7
Gambar 2.3 Diagram fasorhubungantegangan motor dan generator..	8
Gambar 2.4 Pemodelan sistem untuk studi kestabilan	9
Gambar 2.5 Respon sudut rotor untuk sebuah gangguan transien.....	11
Gambar 2.6 Representatif sistem tenaga untuk analisis Kestabilan transien	15
Gambar 2.7 Kriteria sama luas pada perubahan beban mendadak	17
Gambar 2.8 <i>Direct online starting</i>	20
Gambar 2.9 Generator menyuplai beban terisolasi	20
Gambar 2.10 a) Karakteristik <i>speed – governing</i> dari Unit pembangkit	21
b) Sebelum /setelah ΔP_g beban naik dan control tambahan	21
Gambar 2.11 Durasi <i>sagging voltages</i>	24
Gambar 3.1 Lokasi <i>power plant</i> PT Newmont Nusa Tenggara.....	25
Gambar 3.2 Diagram alir metodologi pelaksanaan studi Kestabilan transien	26
Gambar 3.3 SLD sistem kelistrikan di PT Newmont Nusa Tenggara	28
Gambar 3.4 SLD sistem kelistrikan di PT Newmont Nusa Tenggara dalam simulasi ETAP	28
Gambar 3.5 SLD jaringan komposit <i>coal plant</i> PT Newmont Nusa Tenggara.....	29
Gambar 3.6 SLD jaringan komposit <i>diesel plant</i> PT Newmont Nusa Tenggara	30
Gambar 3.7 SLD jaringan komposit Cosentartor 1 PT Newmont Nusa Tenggara	36
Gambar 3.8 SLD jaringan komposit Cosentartor 2 PT Newmont Nusa Tenggara	33
Gambar 3.9 <i>Load lump</i> 1 PT Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP untuk mewakili Town Site, Office Dan PJU	33
Gambar 3.10 SLD Sejorong 1 PT Newmont Nusa Tenggara Simulasi ETAP	34

Gambar 3.11 SLD Sejorong 2 PT Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP	34
Gambar 3.10 SLD MinningPTNewmont Nusa Tenggara simulasi ETAP	35
Gambar 4.1 Respons sudut rotor saat 3 generator <i>coal plant</i> on dan generator 52-GE-TG-100 <i>outage</i> dari sistem.	47
Gambar 4.2 Respons frekuensi sistem saat 3 generator <i>coal plant</i> on dan generator 52-GE-TG-100 <i>outage</i> dari sistem.	48
Gambar 4.3 Respons tegangan sistem 3 generator <i>coal plant</i> on dan generator 52-GE-TG-100 <i>outage</i> dari sistem.	52
Gambar 4.4 Respons sudut rotor saat 3 generator <i>coal plant</i> on dan generator 52-GE-TG-100 <i>outage</i> dan <i>load shedding</i>	49
Gambar 4.5 Respons frekuensi sistem saat 3 generator <i>coal plant</i> on dan generator 52-GE-TG-100 <i>outage</i> dan <i>load shedding 1</i>	50
Gambar 4.6 Respons tegangan sistem 3 generator <i>coal plant</i> on dan generator 52-GE-TG-100 <i>outage</i> dan <i>load shedding 1</i>	51
Gambar 4.7 Respons sudut rotor saat 2 Generator <i>Coal plant</i> on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 <i>outage</i>	52
Gambar 4.8 Respons frekuensi sistem saat 2 Generator <i>Coal plant</i> on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 <i>outage</i>	53
Gambar 4.9 Respons tegangan sistem saat 2 Generator <i>Coal plant</i> on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 <i>outage</i>	54
Gambar 4.10 Respons sudut rotor saat 2 Generator <i>Coal plant</i> on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 <i>outage</i> dengan <i>load shedding</i>	55
Gambar 4.11 Respons frekuensi sistem saat 2 Generator <i>Coal plant</i> on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 <i>outage</i> dengan <i>load shedding</i>	56
Gambar 4.12 Respons tegangan sistem saat 2 Generator <i>Coal plant</i> on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 <i>outage</i> dengan <i>load shedding</i>	57
Gambar 4.13 Respons sudut rotor saat terjadi hubung singkat di 58-TM102 dengan <i>load shedding</i>	58
Gambar 4.14 Respons frekuensi sistem saat terjadi hubung singkat	

	di 58-TM102 dengan <i>load shedding</i>	59
Gambar 4.15	Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 58-TM102 dengan <i>load shedding</i>	59
Gambar 4.16	Respon sudut rotor saat terjadi hubung singkat di 17-DL201 dengan <i>load shedding</i>	60
Gambar 4.17	Respon frekuensi sistem terjadi hubung singkat di 17-DL201 dengan <i>load shedding</i>	61
Gambar 4.18	Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 17-DL201 dengan <i>load shedding</i>	62
Gambar 4.19	Respon sudut rotor saat terjadi hubung singkat di 30-SG302 dengan <i>load shedding</i>	63
Gambar 4.20	Respon frekuensi sistem saat terjadi hubung singkat di 30-SG302 dengan <i>load shedding</i>	64
Gambar 4.21	Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 30-SG302 dengan <i>load shedding</i>	65
Gambar 4.22	Respon sudut rotor saat terjadi hubung singkat di 62-MC401 dengan <i>load shedding</i>	66
Gambar 4.23	Respon frekuensi sistem saat terjadi hubung singkat di 26-MC401 dengan <i>load shedding</i>	67
Gambar 4.24	Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 62-MC401 dengan <i>load shedding</i>	67
Gambar 4.25	Respon sudut rotor generator saat terjadi hubung singkat di 26-MC501 dengan <i>load shedding</i>	68
Gambar 4.26	Respon frekuensi sistem saat terjadi hubung singkat di 26-MC501 dengan <i>load shedding</i>	69
Gambar 4.27	Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 26-MC501 dengan <i>load shedding</i>	69
Gambar 4.28	Respon sudut rotor generator <i>coal plant</i> (5X-GE-TG-100) saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>starting</i>	71
Gambar 4.29	Respon frekuensi sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>starting</i>	71
Gambar 4.30	Respon tegangan sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>starting</i>	72
Gambar 4.31	Respon sudut rotor generator <i>coal plant</i> (5X-GE-TG-100) saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>Starting</i> dengan <i>load shedding</i> tahap 1	73
Gambar 4.32	Respon frekuensi sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>starting</i> dengan <i>load shedding</i> tahap 1	74

Gambar 4.33 Respon tegangan sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>starting</i> dengan <i>load shedding</i> tahap 1	75
Gambar 4.34 Respon sudut rotor generator <i>coal plant</i> (5X-GE-TG-100) saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>Starting</i> dengan <i>load shedding</i> tahap 2	76
Gambar 4.35 Respon frekuensi sistem <i>coal plant</i> saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>starting</i> dengan <i>load shedding</i> tahap 2	77
Gambar 4.36 Respon tegangan sistem <i>coal plant</i> saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>starting</i> dengan <i>load sheeding</i> tahap 2	78
Gambar 4.37 Respon sudut rotor generator <i>coal plant</i> (5X-GE-TG-100) saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>starting I</i> dengan <i>load shedding</i> tahap 3	79
Gambar 4.38 Respon frekuensi sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 <i>starting</i> dengan <i>load shedding</i> tap 3	80

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Grainger, John J., and Stevenson Jr, W.D ., 1994, "*Power System Analysis*", McGraw Hill, Inc.
- [2]. IEEE/CIGRE Joint Task Force on S stability Terms and Definitions, May 2004. "Definition and Classification of Power System Stability", *Power System, IEEE Transaction*, vol. 19, no,2, pp.1387-1401.
- [3]. Kundur, P., 1994, "*Power System Stability and Control*", McGraw Hill, Inc.
- [4]. Perez, E.A., Lee, Wei-Jen, Baker, J., 2005 "Parametric Study to evaluate the Transient Stability of an Industrial Power System", *Industry Applications Conference*, vol. 2, pp. 1518-1523.
- [5]. Prasetijo, D., Lachs, W.R., and Sutanto, D., 1994. "A New Load Shedding Scheme For Limiting Underfrequency", *Power System, IEEE Transaction*, vol. 9, no,3, pp.1371-1378.
- [6]. Saadat, H., 1999, "*Power System Analysis*", McGraw Hill, Inc.

RIWAYAT HIDUP



Ilyas Kurniawan. dilahirkan di kota Lumajang, 31 Desember 1989. Penulis memulai jenjang pendidikannya SDN Pulo 1 hingga lulus tahun 2002. Setelah itu penulis melanjutkan studinya di SMPN 1 Lumajang Tahun 2002, penulis diterima sebagai murid SMA Negeri 2 Lumajang hingga lulus tahun 2008. Pada tahun yang sama penulis masuk ke Jurusan D3 Teknik Elektro Universitas Negeri Malang hingga lulus tahun 2011. Di tahun berikutnya penulis melanjutkan studi Program Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya lewat program Lintas Jalur dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Jika ingin berinteraksi langsung dengan penulis dipersilahkan email ataupun ym ke ilyaskurniawan@yahoo.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kestabilan suatu sistem tenaga listrik adalah kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan. Sebaliknya, ketidakstabilan suatu sistem adalah kehilangan sinkronisasi satu atau lebih generator dari sistem. Jadi masalah kestabilan terkait dengan kondisi dari generator setelah gangguan. Permasalahan kestabilan secara umum dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu kestabilan sinyal kecil dan kestabilan transien. Kestabilan sinyal kecil dipandang sebagai kemampuan dari sistem tenaga untuk memperoleh kembali kesinkronan setelah mengalami gangguan kecil. Kestabilan transien dititikberatkan pada gangguan besar yang mendadak seperti halnya pemutusan saluran yang mendadak, penambahan beban besar secara mendadak, atau generator yang keluar dari sistem secara tiba – tiba.

PT Newmont Nusa Tenggara merupakan industri yang bergerak di bidang pertambangan dengan produksi konsentrat tembaga yang dihasilkan sekitar 1750 ton per hari dari 120.000 ton batuan yang mengandung 0,53 % tembaga dan 0,4 gram emas dari tiap ton tembaga. Untuk itu sangat diperlukan sistem tenaga listrik

yang mampu mendukung kelancaran proses produksi. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik PT Newmont Nusa Tenggara memiliki pembangkit yang terdiri dari 4 unit generator yang diganti dengan generator berkapasitas 34 MW, 9 unit mesin diesel berkapasitas 5 MW dan beban harian rata – rata 110 MW. Mengingat mulai dari sekarang hingga saat ini stabilitas transien pada *plant* belum dianalisis secara mendalam, sehingga perlu dilakukan studi kestabilan transien untuk mengetahui keadaan sistem saat terjadi gangguan transien.

Analisis kestabilan transien dilakukan untuk mengetahui pengaruh gangguan gangguan besar seperti *generator outage*, *motor starting* kapasitas besar dan gangguan hubungan singkat tiga fasa serta analisis mekanisme pelepasan beban yang handal untuk mengatasi gangguan

1.2 Permasalahan

Hal yang menjadi permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimanaresponfrekuensi,tegangan,sertasudut rotor di PT Newmont Nusa Tenggara saatdilakukananalisiskestabilan transient
2. Bagaimanamerancangmekanismepelepasanbeban yang handalpadaPT Newmont Nusa Tenggara
3. Bagaimanaresponsistemsaatdilakukan generator *shedding* untukmenstabilkansistemsaatterjadihubungsingkat di bus teganganmenengah.
4. Bagaimanapolaoperasi yang amanuntukmelakukan*starting* motor *Crusher 15.000 KW*

1.3 Tujuan

Padatugasakhirinibertujuansebagaiberikut :

1. Melaksanakan studi mengenai kestabilan transien sistem kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara untuk mendapatkan rekomendasi yang diperlukan agar dapat menjaga keandalan serta kestabilan dari sistem sehingga mampu mengatasi setiap gangguan-gangguan yang terjadi.
2. Merancang suatu skema yang handal agar sistem kelistrikan pada PT Newmont Nusa Tenggara dapat kembali stabil ketika terjadi gangguan yang dapat menyebabkan sistem tidak stabil.

1.4Metodologi

Metodepenelitian yang digunakanpadatugasakhirinisebagaiberikut :

1. StudiLiteratur
Mengumpulkanbukusertareferensi yang berhubungandengan*Power System Analysis* khususnyamengenaianalisiskestabilan transient danpelepasanbeban.
2. Pengumpulan data
Mengumpulkan data-data mengenaistatistikkelistrikan di PT Newmont Nusa Tenggara seperti single line, data peralatan-peralatan, sertapolaoperasinya.
3. PemodelandanSimulasi
Setelahmendapatkan data dandiolah, akandimodelkandandisimulasikandenganmenggunakan*software* ETAP
4. Analisis data
Dari simulasi yang dilakukandandipadatkansuatuhasil yang akandianalisis. Data yang

akandianalisisadalahrespondarikestabilantransien yang
terjadipadasistemkelistrikan di PT Newmont Nusa Tenggara
yang nantinya dijadikan referensi untuk bisa mendapatkan sistem
yang stabil.

5. Kesimpulan

Memberikan kesimpulan mengenai kondisi kestabilan transient
akibat gangguan yang ada di PT Newmont Nusa Tenggara. Selain itu juga akan diberikan saran
sebagaimana saran berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.

1.5. Sistematika

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima
bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab I : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang,
permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian,
sistematika, dan relevansi atau manfaat.

Bab II : Dasar Teori

Bab ini secara umum membahas stabilitas transient
dan konsep pelepasan beban.

Bab III : Sistem Kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara dan Setup
Simulasi.

Bab ini membahas sistem kelistrikan industri dan spesifikasi beban pada
PT Newmont Nusa Tenggara

BAB IV : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas data hasil simulasi stabilitas transien pada
generator serta bus akibat gangguan *generator outage*, *motor trip*, *efek motor starting* dan hubung singkat. Dari
hasil simulasi stabilitas transien diperhatikan respons sudut rotor
generator, respon frekuensi bus dan respon tegangan sebelum,
saat dan setelah terjadinya gangguan.

BAB V : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan
yang telah diperoleh.

1.6. Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan

manfaat sebagai berikut :

1. Dapat digunakan untuk menentukan mode operasi yang stabil dan aman pada sistem kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara
2. Dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan *load shedding* terhadap sistem kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara
3. Dapat dijadikan referensi pada penelitian selanjutnya tentang stabilitas transien pada sistem kelistrikan industri.

BAB 2

KESTABILAN SISTEM TENAGA

2.1 Definisi Kestabilan

Secara umum kestabilan merupakan kemampuan terbangkitnya momen atau gaya untuk melawan ketika terjadi gangguan dan mengembalikan benda ke titik setimbang. Pada sistem tenaga, kestabilan didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk berada dalam keadaan setimbang saat kondisi normal dan dan masih berada pada titik kesetimbangan yang dapat diterima ketika terjadi gangguan.

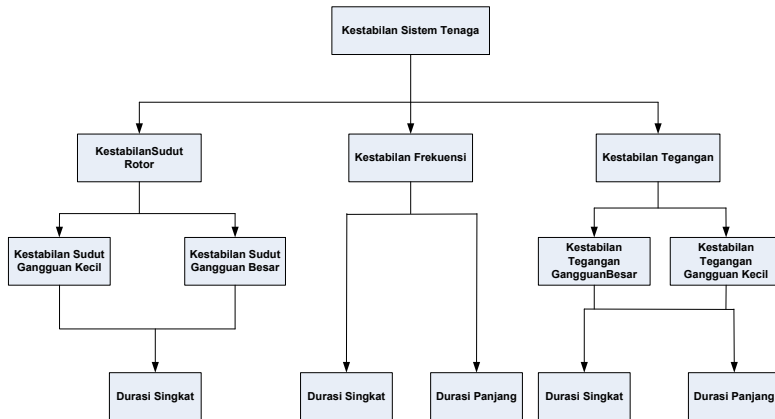
Sistem tenaga listrik bersifat dinamis, mengakibatkan terjadi perubahan tingkat pembebanan dalam pengoperasiannya. Interkoneksi memungkinkan adanya transfer antar daerah, sehingga kekurangan daya di suatu daerah akan dapat di bantu daerah lain melalui jaringan yang terinterkoneksi. Sistem interkoneksi ini juga membuat setiap kejadian di sistem tenaga listrik akan mempengaruhi ke keseluruhan sistem, Selain itu perkembangan teknologi informasi dan elektronik yang pesat, memiliki peran penting di dalam pengontrolan sistem tenaga listrik. Hal ini mempengaruhi berbagai bentuk ketidak stabilan pada sistem tenaga listrik. Kompleksitas permasalahan ketidak stabilan pada sistem tenaga diklasifikasikan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut :

1. Pertimbangan ukuran gangguan, yang mempengaruhi metode perhitungan dan prediksi kestabilan.
2. Sifat fisik dari modus (pola yang sering muncul) yang menghasilkan ketidakstabilan yang ditunjukkan oleh variabel sistem utama di mana ketidakstabilan dapat diamati.
3. Proses, perangkat dan rentang waktu yang harus menjadi pertimbangan dalam rangka untuk menilai kestabilan.

2.2 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga

Klasifikasi kestabilan sistem tenaga menurut *IEEE/CIGRE Joint Task Force*. Klasifikasinya didefinisikan menjadi tiga parameter :

1. Kestabilan Sudut rotor
2. Kestabilan Frekuensi
3. Kestabilan Tegangan



Gambar 2.1 Klasifikasi kestabilan sistem tenaga

2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor (*rotor angle stability*) merupakan kemampuan sudut rotor untuk kembali mempertahankan sinkronisasi antara generator – generator pada sistem saat terjadi gangguan. Kestabilan sudut rotor ini terkait dengan keseimbangan antara torka mekanik dan torka elektrik.

a. Gangguan sinyal kecil

Gangguan sinyal kecil (*Small disturbance Angle Stability*) adalah Kemampuan sistem tenaga menjaga sinkronisasi saat terjadi fluktuasi antara pembangkitan dan beban.

b. Gangguan transien

Gangguan transien (*Transient stability*) adalah Kemampuan sistem menjaga sinkronisasi saat terjadi gangguan besar pada sistem.

2.2.2 Kestabilan Tegangan

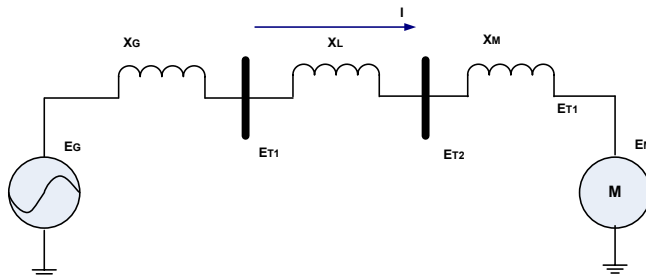
Kestabilan tegangan (*Voltage Stability*) adalah kemampuan suatu sistem tenaga untuk menjaga keadaan tegangan terjaga saat terjadi gangguan pada sistem. ketidakstabilan pada sistem dapat terlihat dari turun atau naiknya tegangan pada beberapa busbar.

2.2.3 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi (*Frequency Stability*) didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan nilai frekuensinya saat terjadi gangguan - gangguan yang menyebabkan adanya ketidak seimbangan antara pembangkitan dan beban. Ketidakstabilan frekuensi ini ditandai dengan adanya ayunan pada sudut generator yang berujung pada lepasnya generator maupun beban dari sistem.

2.3 Hubungan Sudut Rotor – Daya

Karakteristik penting pada kestabilan sistem tenaga adalah hubungan antara sudut rotor mesin sinkron dan perubahan daya. Hubungan ini sangat *non linier* . Hubungan ini dapat di ilustrasikan pada gambar gambar 2.2. dan gambar 2.3.



Gambar 2.2 Model sistem dua mesin

Model sistem sederhana ini dapat digunakan untuk menentukan hubungan antara daya dan sudut rotor.

Model ini terdiri dari :

Impedansi Generator	$= X_G \text{ (P.U)}$
Impedansi Motor	$= X_M \text{ (P.U)}$
Tegangan terminal generator	$= E_{T1} \text{ (P.U)}$
Tegangan terminal motor	$= E_{T2} \text{ (P.U)}$
Tegangan internal generator	$= E_G \text{ (P.U)}$
Tegangan internal motor	$= E_M \text{ (P.U)}$
Impedansi transmisi	$= X_L \text{ (P.U)}$

Nilai reaktansi mesin sinkron dipergunakan berdasarkan tujuan pembelajaran. Untuk Analisis keadaan *steady – state* , tepatnya menggunakan reaktansi sinkron dengan tegangan dalam sama dengan

tegangan eksitasi.

Daya yang terkirim dari generator ke motor adalah fungsi dari perbedaan sudut rotor (δ) kedua mesin. Pemisahan sudut rotor ini disebabkan tiga komponen yaitu :

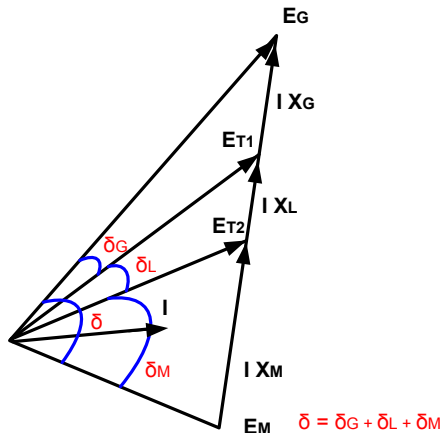
1. Sudut internal generator (δ_G), dimana sudut dari rotor mendahului medan putar stator .
2. Sudut perbedaan antara tegangan terminal generator dan motor (sudut dimana medan stator generator mendahului medan stator motor)
3. Sudut internal motor (sudut dimana rotor tertinggal dari medan putar stator).

Hubungan tegangan generator dan motor ditunjukkan pada gambar 2.3. Daya yang dikirim dari generator ke motor dapat ditentukan dalam persamaan :

$$P = \frac{E_G E_M}{X_T} \sin \delta \quad (2.1.1)$$

Dimana

$$X_T = X_G X_L X_M \quad (2.1.2)$$



Gambar 2.3 Diagram fasor hubungan tegangan motor dan generator

Sedangkan persamaan transfer daya untuk bus infinite yaitu :



Gambar 2.4 Pemodelan sistem untuk studi kestabilan

Admitansi untuk sistem diatas adalah

$$Y_{bus} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} \quad (2.2.1)$$

Dengan bus 2 dianggap sebagai sebuah infinite bus ialah bus memiliki inersia yang besar sehingga komponen – komponennya dianggap konstan.

Persamaan aliran daya $P_k + jQ_k = V_k \sum_{n=1}^N (Y_{kn} V_n)^*$ (2.2.2)

Dengan mensubstitusikan k dan N sama dengan satu dan dua, dan substitusi V dengan E, maka didapatkan persamaan :

$$P_1 + jQ_1 = E_1' (Y_{11} E_{21}')^* + E_1' (Y_{12} E_2')^* \quad (2.2.3)$$

Jika

$$E_1' = |E_1'| < \delta_1 ; \quad (2.2.4)$$

$$E_2' = |E_2'| < \delta_2 ; \quad (2.2.5)$$

$$Y_{11} = G_{11} + j B_{11} ;$$

$$Y_{12} = |Y_{12}| < \theta_{12} ;$$

Maka dengan memasukkan persamaan ke persamaan akan didapatkan

$$P_1 = |E_1'|^2 G_{11} + |E_1'| |E_2'| |Y_{12}| \cos(\delta_1 - \delta_2 - \theta_{12}) \quad (2.2.6)$$

$$Q_1 = |E_1'|^2 B_{11} + |E_1'| |E_2'| |Y_{12}| \sin(\delta_1 - \delta_2 - \theta_{12}) \quad (2.2.7)$$

Jika diasumsikan

$$\delta = \delta_1 - \delta_2 \quad (2.2.8)$$

Dan definisikan

$$\gamma = \Theta_{12} - \frac{\pi}{2} \quad (2.2.9)$$

maka

$$P_1 = |E_1'|^2 G_{11} + |E_1'| |E_2'| |Y_{12}| \sin(\delta - \gamma) \quad (2.2.10)$$

$$Q_1 = |E_1'|^2 B_{11} + |E_1'| |E_2'| |Y_{12}| \sin(\delta_1 - \delta_2 - \Theta_{12}) \quad (2.2.11)$$

Sehingga daya yang dihasilkan oleh suatu generator ialah :

$$P_e = P_c + P_{\max} \sin(\delta - \gamma) \quad (2.2.12)$$

Dimana :

$$P_c = |E_1'|^2 G_{11} + |E_1'| |E_2'| |Y_{12}| \sin(\delta - \gamma) \quad (2.2.13)$$

$$P_{\max} = |E_1'| |E_2'| |Y_{12}| \quad (2.2.14)$$

Dengan mengabaikan resistansi dalam generator dan tidak adanya sudut daya pada jaringan maka persamaanya menjadi :

$$P_e = P_{\max} \sin \delta \quad (2.2.15)$$

Dimana

$$P_{\max} = \frac{|E_1'| |E_2'|}{X_{12}} \quad (2.2.16)$$

Dari persamaan (2.2.15) bahwa hubungan antara daya yang ditransmisikan tergantung pada reaktansi X_{12} dan sudut δ . Ketika sudut δ bernilai nol, maka tidak ada daya yang ditransmisikan ke sistem dan kondisi penyaluran maksimum ketika sudut δ bernilai satu.

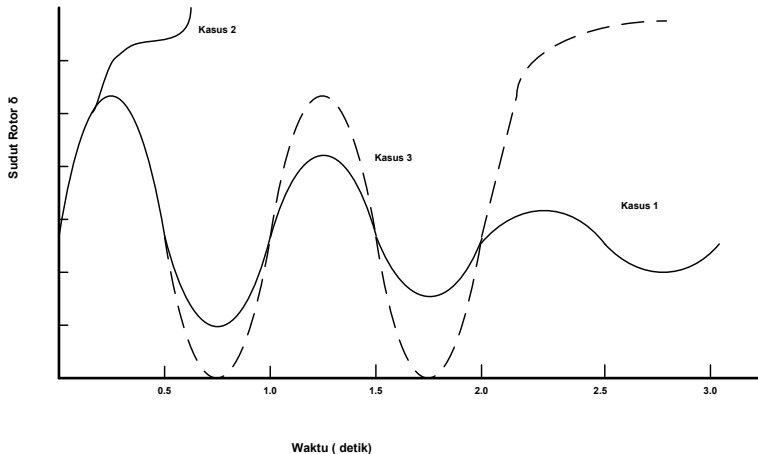
2.4 Kestabilan Transien

Kestabilan transien didefinisikan sebagai kemampuan sistem menjaga sinkronisasi saat terjadi gangguan besar. Gangguan – gangguan besar yang terjadi pada sistem berupa gangguan hubung singkat pada saluran , lepasnya unit pembangkit ataupun lepasnya suatu beban. Saat terjadi gangguan tersebut maka akan ada ketidakseimbangan antara daya mekanik dengan daya elektrik. Hal ini mengakibatkan rotor mengalami akselerasi dan deakselerasi pada rotor generator sehingga posisi rotor generator berubah.

Saat terjadi gangguan maka kondisi operasi dari sistem tersebut pun akan berubah. Gangguan – gangguan yang terjadi mengakibatkan terjadinya rekonfigurasi jaringan sehingga akan berpengaruh pada aliran daya pada sistem setelah terjadinya gangguan. Studi transient ini diperlukan untuk melakukan pengakajian terhadap kemampuan daya tahan sistem terhadap gangguan transient, hal ini penting apabila ada penambahan element sistem tenaga baru misalnya transmisi tau generator. Kestabilan generator mencakup beberapa hal, diantaranya :

1. Kapsitas beban yang ditanggung generator
2. *Fault Clearing Time*
3. Reaktansi transmisi setelah terjadi gangguan
4. Reaktansi generator
5. Inersia generator
6. Tegangan internal magnitude generator
7. Tegangan *infinite bus magnitude*

Ilustrasi dari karakteristik mesin sinkron stabil atau tidak digambarkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Respon sudut rotor untuk sebuah gangguan transien

Hubungan sudut rotor terhadap waktu pada mesin sinkron ketika terjadi suatu gangguan transient digambarkan pada gambar 2.5.

Terdapat tiga kasus yang terdiri dari satu kasus normal dan dua kasus tidak stabil.

Kasus 1

Terjadi ayunan sudut rotor yang memiliki karakteristik memiliki overshoot tinggi di ayunan pertama dan menurun di ayunan seterusnya sampai mencapai titik kestabilan.

Kasus 2

Sudut rotor mengalami kenaikan sampai mencapai kehilangan sinkron pada ayunan pertama, sehingga kondisi ini dinamakan tidak stabil.

Kasus 3

Sudut rotor mengalami osilasi, sudut rotor mencapai batas maksimum dan minimum ayunan di titik nol, selain itu pada periode kedua mengalami kenaikan nilai sudut rotor sampai melebihi batas maksimum sudut rotor dan kehilangan sinkron sehingga kondisi ini tidak stabil. Kondisi ini umumnya terjadi pada kondisi *postfault steady-state* adalah ketidakstabilan sinyal *small signal* yang bukan diakibatkan dari gangguan transien.

2.5 Persamaan Ayunan

Gerakan rotor pada suatu generator didasarkan pada prinsip dasar bahwa torka yang dihasilkan merupakan hasil kali dari inersia dan percepatan sudutnya . Di tulis dengan persamaan matematis :

$$T_a = J \frac{d^2 w_r}{dt^2} = T_m - T_e \quad (2.3.1)$$

Dimana

J : total momen inersia dari generator dan turbin
(kgm²),

ω_r : kecepatan sudut dari rotor, mekanis dalam rad/s,

t : waktu (sekon)

T_a : torsi akselerasi atau deakselerasi

T_m : torsi mekanis (N-m)

T_e : torsi elektromagnetik (N-m)

Pada persamaan diatas T_m dan T_e bernilai positif untuk generator dan negatif untuk motor.

Hubungan antara energi dengan massa yang berputar ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$W_k = \frac{1}{2} J \omega^2 m = \frac{1}{2} M \omega_m \quad (2.3.1)$$

Dengan

$$M = \frac{2\omega_m}{\omega_k} \quad (2.3.2)$$

Jika ,

$$H = \frac{\text{energi kinetik dalam kecepatan sinkron (MJ)}}{\text{rating mesin (MVA)}} \quad (2.3.3)$$

$$H = \frac{\frac{1}{2} J \omega^2}{S} \quad (2.3.4)$$

$$\frac{2H}{\omega_m} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad \text{P.u} \quad (2.3.5)$$

$$\delta = \frac{p}{2} \delta_m \quad \omega_s = \frac{p}{2} \omega_m \quad (2.3.6)$$

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad \text{P.u} \quad (2.3.7)$$

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (\text{dalam radian elektrik}) \quad (2.3.8)$$

$$\frac{H}{180f} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (\text{dalam sudut elektrik}) \quad (2.3.9)$$

Dari persamaan diatas kita dapat melihat bahwa adanya perbedaan antara daya mekanik dan daya elektrik akan mengakibatkan perubahan sudut rotor. Perubahan pada sudut rotor ini mengakibatkan rotor mengalami percepatan dan perlambatan.

2.6 Kestabilan Multi Mesin

Kestabilan multi mesin pada dasarnya hampir sama dengan kestabilan satu mesin yang terhubung ke *infinite bus*. Tetapi perbedaan yang mendasar ialah kompleksitas dari komputasi numerik akan meningkat dengan meningkatnya generator yang akan di simulasikan pada kestabilan transien.

Dalam kenyataanya apabila terjadi suatu gangguan di dalam sistem tenaga maka setiap elemensistem tenaga yang terhubung pada sistem akan saling mempengaruhi. Misalnya kejaaian generator yang

berisolasi akan mengakibatkan generator yang lain ikut berisolasi. Untuk mempermudah menganalisis kestabilan multi mesin, digunakan pendekatan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Aksi governor diabaikan dan daya keluaran mekanik yang dianggap konstan
2. Fungsi redaman di anggap tidak ada
3. Setiap generator direpresentasikan dengan konstanta reaktansi transien yang terhubung seri dengan tegangan konstan transient internal generator.
4. Beban sistem dimodelkan sebagai matriks admitansi dan diasumsikan konstan.
5. Sudut daya mekanik berimpit dengan daya pada daya elektrik δ

Pada analisis kestabilan multimesin dibutuhkan kondisi sistem sebelum gangguan konfigurasi jaringan selama terjadi dan sesudah gangguan. Oleh karena itu dalam analisisnya diperlukan dua langkah, yaitu:

1. Keadaan steady state sebelum terjadi gangguan pada sistem. Keadaan *steady state* sistem berupa aliran daya pada sistem.
2. Konfigurasi jaringan dari sistem dan di modifikasi saat terjadi gangguan dan setelah terjadi gangguan.

Langkah –langkah pertama dalam studi kestabilan *transient* adalah menyelesaikan aliran daya , *magnitude* tegangan mula-mula serta sudut fasa.

Arus mesin sebelum gangguan dihitung dengan persamaan :

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.4.1)$$

m = jumlah generator

V_i = tegangan terminal ke – i

P_i = daya aktif mesin- i

Q_i = daya reaktif mesin- i

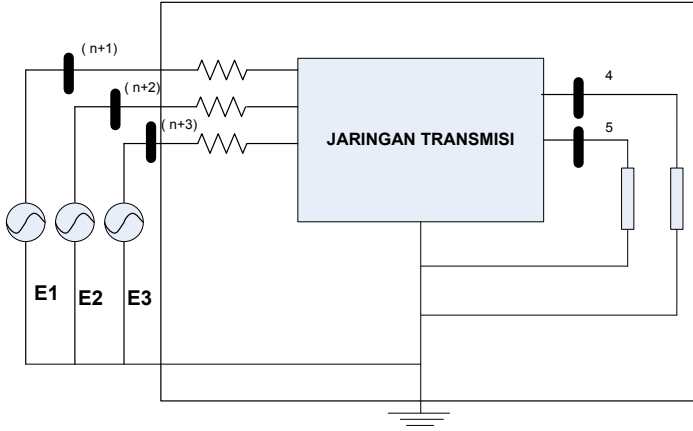
Tegangan sumber sebelum reaktansi *transient* dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$E_i' = V_i + jX_d' I_i \quad (2.4.2)$$

Selanjutnya beban sistem diubah menjadi admittansi ekuivalen dengan menggunakan hubungan :

$$Y_i = \frac{S_L^*}{|V_L|^2} = \frac{P_L - jQ_L}{|V_L|^2} \quad (2.4.3)$$

Dari persamaan diatas kita mempunyai model m-bus generator yang ditambahkan ke n-bus sistem tenaga dengan jaringan ekivalen yang diubah menjadi admitansi.



Gambar 2.6 Representatif sistem tenaga untuk analisis kestabilan transien

Jaringan listrik yang diperoleh untuk n-mesin ditunjukkan pada gambar 2.6. Titik (n+1), (n+2), (n+3), ... (n+m) adalah bus internal mesin atau bus yang mana tegangan balik reaktansi transient diterapkan Matriks persamaan arus untuk jaringan ini diberikan persamaan :

$$\mathbf{I}_{bus} = \mathbf{Y}_{bus} \mathbf{V}_{bus} \quad (2.4.4)$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \\ I_{n+1} \\ I_{n+2} \\ \vdots \\ I_{n+m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} & Y_{1(n+1)} & \dots & Y_{1(n+m)} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} & Y_{2(n+1)} & \dots & Y_{2(n+m)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} & Y_{n(n+1)} & \dots & Y_{n(n+m)} \\ Y_{(n+1)1} & Y_{(n+1)2} & \dots & Y_{(n+1)n} & Y_{(n+1)(n+1)} & \dots & Y_{(n+1)(n+m)} \\ Y_{(n+2)1} & Y_{(n+2)2} & \dots & Y_{(n+2)n} & Y_{(n+2)(n+1)} & \dots & Y_{(n+2)(n+m)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Y_{(n+m)1} & Y_{(n+m)2} & \dots & Y_{(n+m)n} & Y_{(n+m)(n+1)} & \dots & Y_{(n+m)(n+m)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ E'_{n+1} \\ E'_{n+2} \\ \vdots \\ E'_{n+m} \end{bmatrix} \quad (2.4.4)$$

Langkah kedua adalah matriks admitansi dimodifikasi berdasarkan saat terjadi gangguan atau pun setelah gangguan.

Untuk menghilangkan bus beban, matriks admitansi pada persamaan (2.4.4) di *partisi*. Tidak adanya arus yang masuk atau meninggalkan bus beban maka arus dalam baris ke- n adalah nol. Arus generator dapat dinyatakan dengan vector I_m dan tegangan generator dan dapat dinyatakan berturut turut oleh vector E'_m dan V_n . Persamaan (2.4.4) dalam bentuk submatrik menjadi :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{nn} & Y_{nm} \\ Y_{nm}^t & Y_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ E'_m \end{bmatrix} \quad (2.4.5)$$

$$0 = Y_{nn} V_n + Y_{nm} E'_m \quad (2.4.6)$$

$$I_m = Y_{nm}^t V_n + Y_{mm} E'_m \quad (2.4.7)$$

Karena hanya melihat sisi generator maka selain dari bus generator di reduksi menggunakan reduksi kron, dimensi matriks yang sudah dimodifikasi tersebut menjadi sama dengan jumlah generator yang terpasang pada sistem.

$$V_n = Y^{-1}_{nn} V_n E'_m \quad (2.4.8)$$

$$I_m = [Y_{mm} I_m - Y_{nm}^t Y^{-1}_{nn} Y_{nm}] E'_m \quad (2.4.8)$$

Daya listrik keluaran dari setiap mesin dapat dinyatakan dalam bentuk tegangan internal mesin dengan persamaan :

$$S^*_{ei} = E_i^* I_i \quad (2.4.9)$$

Atau

$$P^*_{ei} = R_e(E_i^* I_i) \quad (2.4.10)$$

Dengan

$$I_i = \sum_{j=1}^m E'_j Y_{ij} \quad (2.4.11)$$

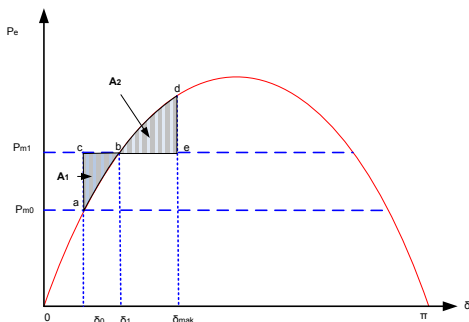
Tegangan dan admitansi dinyatakan dalam bentuk polar yaitu $E'_i = |E'_i| \angle \delta_i$ dan $Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_i$ dan disubstitusi harga I_i dari persamaan 2.4.10 akan menghasilkan :

$$P_{ei} = \sum_{j=1}^m |E'_i| |E'_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_i - \delta_i + \delta_j) \quad (2.4.12)$$

2.7 Menentukan Stabilitas Transien dengan Metode Criteria Sama Luas

Studi stabilitas *transient* meliputi penentuan tercapai atau tidaknya keserempakan mesin setelah mengalami gangguan. Gangguan – gangguan tersebut dapat berupa pembebanan tiba-tiba , kehilangan pembangkit, kehilangan beban besar tiba – tiba taupun gangguan pada sistem.

Suatu metode yang dapat digunakan untuk memprediksi yang cepat adalah metode sama luas. Metode ini hanya dapat dipakai untuk suatu sistem satu mesin yang terhubung ke *infinite bus* atau sistem dua mesin.



Gambar 2.7 Kriteria sama luas pada perubahan beban mendadak

2.8 Konsep Waktu Pemutusan Kritis

Waktu pemutus kritis diartikan sebagai waktu maksimum yang diperlukan circuit breaker untuk bekerja agar sudut rotor generator mampu mempertahankan sinkronisasi ketika gangguan dan pasca gangguan.

Untuk menentukan waktu pemutusan kritis t_k , diperlukan persamaan ayunan *nonlinier*. Dalam hal ini, dimana daya listrik selama gangguan adalah nol, penyelesaian analitik untuk waktu pemutus kritis (*critical clearing time*) dapat ditentukan. Dari persamaan ayunan yang diberikan persamaan (2.3.8.) dapat ditentukan waktu pemutus kritis, dimana selama gangguan terjadi $P_e = 0$, sehingga waktu pemutusan kritis didapatkan sebagai berikut :

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m \quad (2.6.1.)$$

Atau

$$\frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_m * \frac{\pi f}{H} \quad (2.6.2)$$

Integrasi kedua sisi kiri kanana menghasilkan persamaan :

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{\pi f}{H} P_m \int_0^t dt = \frac{\pi f}{H} P_m t \quad (2.6.3)$$

Dengan mengintegrasikan sekali lagi didapatkan lagi persamaan :

$$\delta = \frac{\pi f}{H} P_m t^2 + \delta_0 \quad (2.6.4)$$

Kemudian δ_k adalah sudut pemutus kritis (*critical clearing angle*) yang hubungannya dengan waktu pemutus kritis adalah :

$$t_k = \sqrt{\frac{2H (\delta_k - \delta_0)}{\pi f P_m}} \quad (2.6.5)$$

2.9 Gangguan yang Mempengaruhi Kestabilan Transien

Hal – hal yang mempengaruhi kestabilan transient sebagai berikut :

- a. Hubung Singkat
- b. *Inrush Trafo*
- c. *Starting Motor*
- d. Hilangnya pembangkitan besar secara tiba – tiba
- e. Penambahan / pelepasan beban besar secara tiba – tiba.

2.9.1 Hubung Singkat

Salah satu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat. Gangguan ini mempengaruhi sistem tenaga listrik yang dapat mengakibatkan kestabilan transien. Penyebab gangguan hubung singkat diantaranya sambaran petir , kegagalan isolasi, pohon tumbang, gangguan binatang dan sebagainya. Hubung singkat memiliki arus yang berlipat – lipat dari arus nominalnya. Sehingga apabila hal ini terjadi mengakibatkan kerusakan pada peralatan sistem tenaga. Arus besar yang mengalir dalam waktu tertentu menimbulkan energi panas. Bila terjadi aliran ini pada konduktor akan mengakibatkan kerusakan mekanis, disisi lain isolator juga ikut rusak akibat ketidak mampuan menahan arus besar secara kontinyu. Selain itu ketika arus ini mengalir pada trafo maka di belitan trafo terjadi distorsi dan kerusakan fisik lainnya. Sistem dengan impedansi tealiri arus yang besar mengakibatkan tegangan menjadi abnormal di sisi tegangan rendah. Dan ketika peralatan listrik tidak disuplai tegangan ratingnya mengakibatkan peralatan tidak bekerja atau mati.

Hubung singkat mempengaruhi kestabilan sistem tenaga. Ketika terjadi hubung singkat, arus yang mengalir di sistem cenderung mengalir ke titik gangguan akibat dari rendahnya impedansi. Sumber

arus yang mengalir dari generator dan motor induksi, sehingga bila tidak segera diatasi kejadian ini dapat mengakibatkan *black out*.

2.9.2 Penambahan Beban Secara Tiba – Tiba

Sistem tenaga dapat terganggu apabila dilakukan pembebanan penuh secara tiba – tiba. Penambahan beban pada suatu sistem tenaga listrik dapat mengakibatkan timbulnya gangguan peralihan jika:

- a. Jumlah beban melebihi batas kestabilan keadaan mantap untuk kondisi tegangan dan reaktansi rangkaian tertentu
- b. Jika beban dinaikkan sampai terjadi osilasi, sehingga menyebabkan sistem mengalami ayunan yang melebihi titik kritis yang tidak dapat kembali.

Hal ini berdampak pada frekuensi sistem yang menurun dengan cepat sehingga sistem akan keluar dari keadaan sinkron. Hal ini terjadi karena daya keluaran elektrik generator jauh melampaui daya masukan mekanis generator sehingga dilakukan pengurangan energi kinetik generator. Putaran generator turun mengakibatkan frekuensi sistem juga turun, sudut daya bertambah besar dan melampaui sudut kritisnya. Sehingga generator lepas sinkron atau lepas dari sistem. Sesaat dilakukan pembebanan tersebut, rotor generator mengalami ayunan dan getaran yang besar.

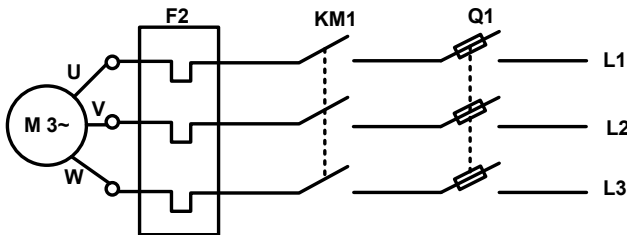
2.9.3 Starting Motor

Motor yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari aplikasi di lingkungan rumah tangga sampai aplikasi di industri-industri besar adalah motor induksi. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan motor listrik yang lain, yaitu diantaranya karena harganya yang relatif murah, konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerja yang baik. Akan tetapi motor induksi memiliki arus motor starting tinggi ketika tegangan penuh atau disebut *locked rotor current* (LRC), tiap motor memiliki nilai LRC bervariasi.

Arus starting mempengaruhi kestabilan sistem tenaga diantaranya *drop* tegangan. Hal ini terjadi karena arus besar yang melewati peralatan sistem tenaga diantaranya trafo, trafo ketika teraliri arus yang melebihi ratingnya menyebabkan kenaikan tegangan pada trafo itu sendiri. Selain itu arus besar yang melewati saluran

menyebabkan rugi – rugi daya aktif pada saluran bertambah sehingga dapat menurunkan frekuensi di generator.

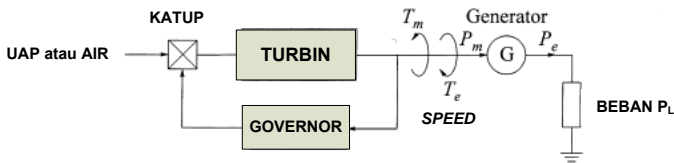
Salah satu metode starting motor adalah dengan metode *direct online* (DOL). Metode DOL adalah yang paling simpel, dimana stator secara langsung dihubungkan dengan suplai. Motor *start* dengan karakteristiknya sendiri. DOL memiliki keuntungan yaitu peralatannya mudah, torsi penyalan tinggi, penyalan cepat, dan murah.



Gambar 2.8 Direct online starting

2.10 Pengaturan Frekuensi

Unit *governor* sebagai pengatur frekuensi dalam sistem, mengatur keluaran uap yang bertekanan dari ketel uap untuk menggerakkan turbin uap berada dalam putaran dengan frekuensi 50 Hertz. Konsep dasar dari speed governing digambarkan secara baik dengan memperhatikan sebuah unit pembangkit yang mensuplai beban lokal terisolasi seperti pada gambar 2.9



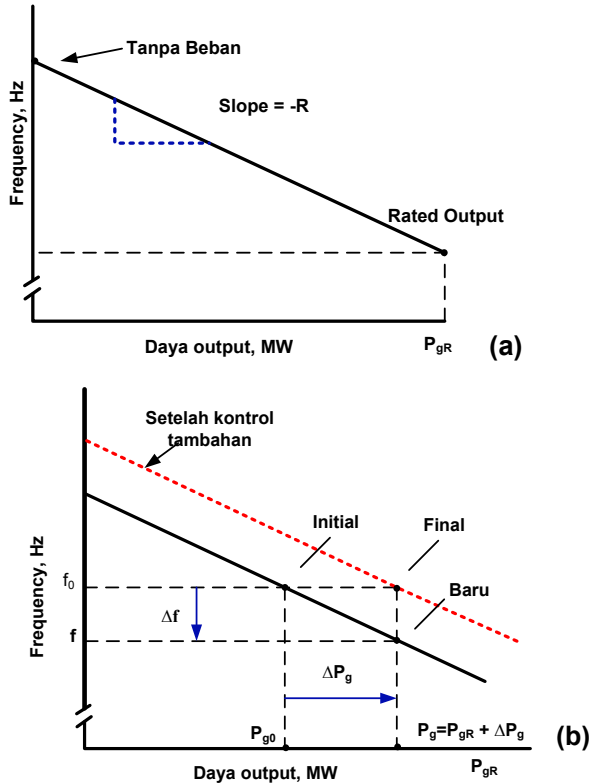
Gambar 2.9 Generator menyuplai beban terisolasi

T_m = Torsi mekanik
 P_m = Daya mekanik

T_e = Torsi Elektrik
 P_e = Daya Elektrik

P_L = Daya beban

Ketika ada perubahan beban, direfleksikan secara instan sebagai perubahan pada *output* torsi elektrik dari generator. Ini menyebabkan ketidaksesuaian antara torsi mekanik dan torsi elektrik [2] .



Gambar 2.10 (a) Karakteristik *speed-governing* dari unit pembangkit ;
(b) sebelum/setelah ΔP_g beban naik dan kontrol tambahan

Pada gambar 2.10 (a) *droop per-unit* atau *speed regulation* R_u dari unit pembangkit didefinisikan sebagai puncak dari perubahan kecepatan *steady state*, dinyatakan dalam kecepatan per unit, ketika *output* dari unit secara bertahap dikurangi dari daya 1 p.u ke nol. Nilai R_u dapat dituliskan dengan persamaan :

$$R_u = \frac{(F_2 - F_1)/F_R}{P_{gR}/S_R} \quad (2.6.6)$$

Dimana, f_2 = frekuensi (Hz) saat tanpa beban
 f_1 = frekuensi (Hz) saat *rated megawatt output* P_{gR}
 f_R = frekuensi *rated* (Hz) dari unit
 S_R = megawatt *base*

Setiap sisi dari persamaan (2.24) dikalikan dengan f_R/S_R :

$$R = R_u \frac{f_R}{S_R} = \frac{f_2 - f_1}{P_{gR}} \text{ Hz/MW} \quad (2.6.7)$$

Pada gambar 2.11 (b) saat kecepatan unit turun, kecepatan governor mengijinkan lebih banyak uap dari ketel (dari air dari pintu air) melalui turbin untuk menahan turunnya kecepatan. Keseimbangan antara *input* dan *Output* daya menimbulkan frekuensi baru $f = (f_0 + \Delta f)$. Berdasarkan kemiringan dari karakteristik kecepatan-*output*, perubahan frekuensi (Hz) adalah :

$$\Delta f = -R \Delta P_g = - \left(R_u \frac{f_R}{S_R} \right) \Delta P_g \text{ Hz} \quad (2.6.8)$$

2.11 Pelepasan Beban

Apabila terdapat gangguan dalam sistem yang menyebabkan daya tersedia tidak dapat melayani beban, misalnya karena ada unit pembangkit yang besar jatuh (trip), maka untuk menghindarkan sistem menjadi collapsed perlu dilakukan pelepasan beban. Keadaan yang kritis dalam sistem karena jatuhnya unit pembangkit dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat.

Pada sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan karena lepasnya (trip) unit generator yang besar dapat mengurangi aliran daya aktif yang mengalir ke beban, sehingga menyebabkan generator-generator yang lain dipaksa bekerja. Jika hal ini berlangsung terus menerus dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada batang kopel generator karena dipaksa bekerja. Untuk itu diperlukan relay *under frequency* yang berfungsi untuk mendeteksi penurunan frekuensi sistem secara tiba-tiba akibat adanya unit pembangkit besar yang lepas dari sistem. Salah satu cara untuk menaikkan frekuensi tersebut adalah dengan melepas beban.

Skema pelepasan beban menurut standar ANSI/IEEE C37.

106-1987 ada dua jenis, yakni pelepasan beban menggunakan tiga langkah dan pelepasan beban menggunakan enam langkah. Pada Tabel 2.1 akan dipaparkan skema pelepasan beban tiga langkah sesuai dengan standar ANSI/IEEE C37.106-1987

Tabel 2.1 Skema *load shedding* Tiga Langkah

<i>Step</i>	<i>Titik Frequency Trip (Hz)</i>	<i>Persentase dari load shedding (%)</i>	<i>Waktu delay tetap (siklus) pad aRelay</i>
1	59.3 /(98.83%)	10	6
2	58.9 /(98.16)	15	6
3	58.59 /(97.5)	Sebagaimana disyaratkan untuk menangkap penurunan sebelum 58,2 Hz	

Tabel 2.2 Skema *load shedding* 6 Langkah

<i>Step</i>	<i>Titik Frequency Trip (60Hz)</i>	<i>Persentase dari load shedding (%)</i>	<i>Waktu delay tetap (siklus) pada Relay</i>
1	59.5	10	6
2	59.2	10	6
3	58.8	5	
4	58.8	5	
5	58.4	5	
6	58.4	5	

2.12 Standar yang Berkaitan dengan Efek Transien

2.12.1 Standar *Under Voltage*

Undervoltage biasanya disebabkan oleh peristiwa gangguan. pembebanan yang berlebihan juga dapat mengakibatkan *Undervoltage*.. Tegangan sistem harus dipertahankan dengan batasan sebagai berikut :
Standar PLN Tegangan Nominal Kondisi Normal

500 kV +5%, -5%

150 kV +5%, -10%

70 kV +5%, -10%

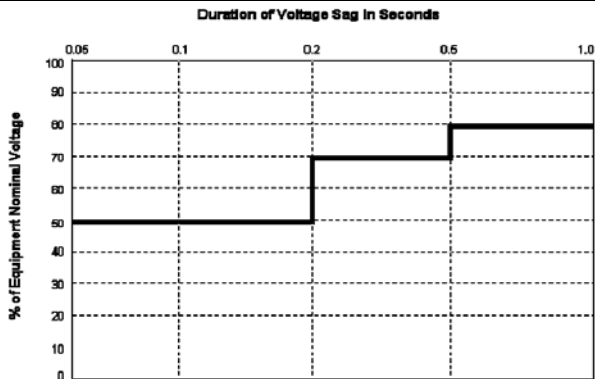
20 kV +5%, -10%

2.10.2 Standart Voltage Sagging

Kedip Tegangan didefinisikan sebagai fenomena penurunan magnitude tegangan efektif terhadap harga nominalnya selama interval waktu (t). Biasanya disebabkan oleh sistem *fault*, energisasi beban besar ataupun *starting* dari motor-motor besar. Dalam Tugas Akhir ini standar *Voltage Sagging* yang digunakan adalah standar SEMIF47.

Tabel 2.3 *Voltage sagging* menurut standar SEMI F47

Durasi Tegangan Kedip			Tegangan Kedip
Detik (s)	Siklus di 60 Hz	Siklus di 50 Hz	Persentase(%) dari Tegangan nominal peralatan
< 0.05 s	< 3 siklus	< 2.5 siklus	Tidak spesifik
0.05 to 0.2 s	3 to 12 siklus	2.5 to 10 siklus	50 %
0.2 to 0.5 s	12 to 30 siklus	10 to 25 siklus	70 %
0.5 to 1.0 s	30 to 60 siklus	25 to 50 siklus	80 %
>1.0 s	> 60 siklus	> 50 siklus	Tidak spesifik



Gambar 2.11 Durasi *sagging voltages*

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT NEWMONT NUSA TENGGARA

PT Newmont Nusa Tenggara berlokasi di kecamatan Taliwang, kabupaten Sumbawa barat atau terletak disebelah barat daya Pulau Sumbawa, berjarak 15 KM dari pantai barat dan 10 KM dari pantai selatan, provinsi Nusa Tenggara Barat yang mencakup lahan seluas $\pm 340.000 \text{ m}^2$.

Sumber utama listrik untuk mendukung semua jenis kegiatan baik penambangan serta semua kegiatan terkait di PT Newmont Nusa Tenggara disediakan oleh Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang terdiri dari 4 unit yang setiap unit berkapasitas 34.2 Mega watt (MW) dan ditambah Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang terdiri dari 9 motor diesel yang masing-masing mengerakan generator untuk menghasilkan tenaga listrik dengan kapasitas per unit 5 MW. Jadi total kapasitas pembangkit 181.8 MW.

<i>Coal plant</i>	4 x 34.2 mw	= 136.8 MW
<i>Diesel Plant</i>	9 x 5 mw	= 45 MW
Jadi total		= 112 MW + 45 MW = 181.8 MW

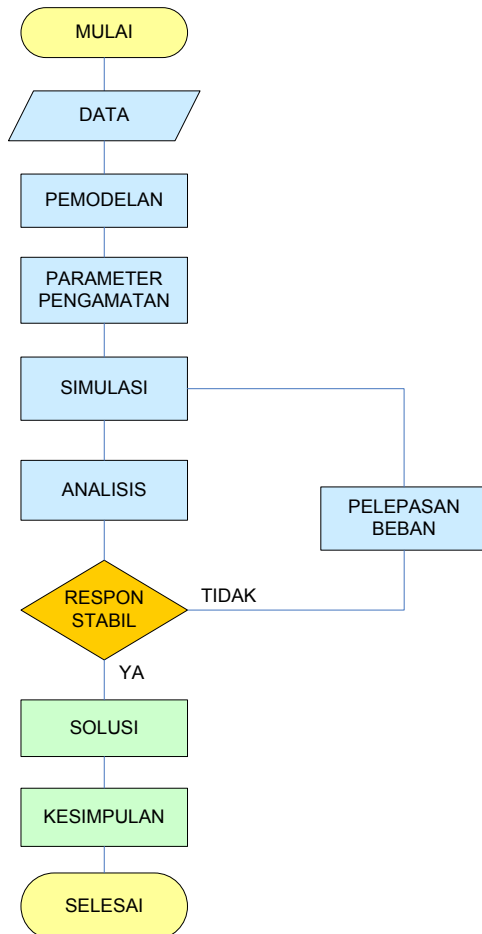


Gambar 3.1 Lokasi *power plant* PT Newmont Nusa Tenggara

Gabungan tempat PLTU dan PLTD kurang lebih menempati lahan seluas 63 hektar (ha), terletak di batas selatan teluk Benete dekat fasilitas pelabuhan untuk proyek penambangan tembaga dan emas Batu Hijau.

3.1. Metode Pelaksanaan Studi

Tugas akhir ini menggunakan metode yang digambarkan dalam diagram alir untuk melakukan studi kestabilan transient di PT Newmont Nusa Tenggara.



Gambar 3.2 Diagram alir metodologi pelaksanaan studi kestabilan transien

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi literature dengan tujuan mempelajari dan memahami konsep aliran daya, mesin – mesin listrik , pengaturan pembangkit dan kestabilan sistem. Langkah berikutnya yaitu mengumpulkan data. Data yang dikumpulkan berupa data- data mengenai sistem kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara diantaranya spesifikasi peralatan sistem tenaga seperti generator, trafo, peralatan pengaman, selain itu data beban dan konfigurasi sistem serta pengoperasiannya. Setelah data terkumpul maka dilakukan pemodelan sistem menggunakan *software ETAP* untuk dilakukan beberapa analisis diantaranya analisis aliran daya, analisis hubung singkat, analisis *starting* motor dan analisis kestabilan transien. Langkah selanjutnya adalah menganalisa kestabilan transien untuk menentukan apakah sistem stabil atau tidak apabila terjadi beberapa kasus kejadian transien. Setelah dilakukan analisis dan rekomendasi dapat dilakukan penarikan kesimpulan dan diakhiri dengan pembuatan laporan.

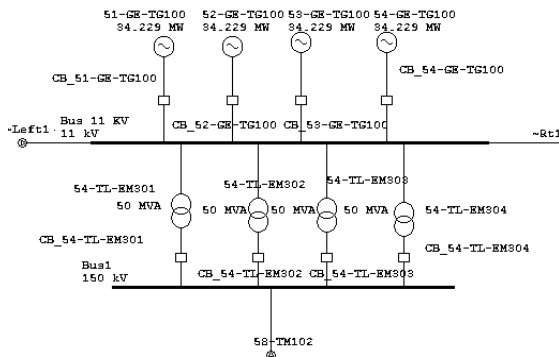
3.2 Sistem Kelistrikan di PT Newmont Nusa Tenggara

PT Newmont Nusa Tenggara merupakan perusahaan tambang, dalam pengoperasiannya memerlukan energi listrik besar. Agar produksi lancar PT Newmont Nusa Tenggara membangun *Power Plant* yang terdiri dari dua jenis pembangkit yaitu PLTU (*coal plant*) dan PLTD (*diesel plant*). *Coal Plant* memiliki 4 unit generator dengan kapasitas tiap generator 34.2 MW sedangkan *Diesel Plant* memiliki 9 unit generator dengan kapasitas tiap generator 5 MW T. Di Benete terdapat gardu induk (*port switchyard*) digunakan untuk menaikkan tegangan dari output generator 11 kV menjadi 150 kV. Energi listrik disalurkan dari Benete melalui jalur transmisi sepanjang 30 Kilo meter menuju gardu induk di *Cosentrator* untuk diturunkan dari 150 kV menjadi 33 kV dan dari 150 kV menjadi 11 kV. Sementara beban – beban disuplai oleh beberapa gardu distribusi yang terdiri dari trafo penurunan tegangan dari 33/6.6 kV, 33/3.3 kV dan 11/380 kV. Secara garis besar dapat digambarkan pada *single line diagram* sistem kelistrikan di PT Newmont Nusa Tenggara pada Gambar 3.3. Adapun *single line diagram* keseluruhan sistem kelistrikan di PT Newmont Nusa Tenggara dapat dilihat di lampiran.

Gambar 3.4. menunjukkan SLD sistem kelistrikan PT. Newmont Nusa Tenggara dalam simulasi ETAP dimana sistem tersebut terdiri dari 3 buah jaringan komposit s sebagai pembangkit, 5 bu ah jaringan komposit untuk beban-beban motor. Diagram segaris ini dibuat dari hasil penggabungan diagram segaris sistem 150 kV, 33 kV, dan 11 kV dari PT. Newmont Nusa Tenggara.

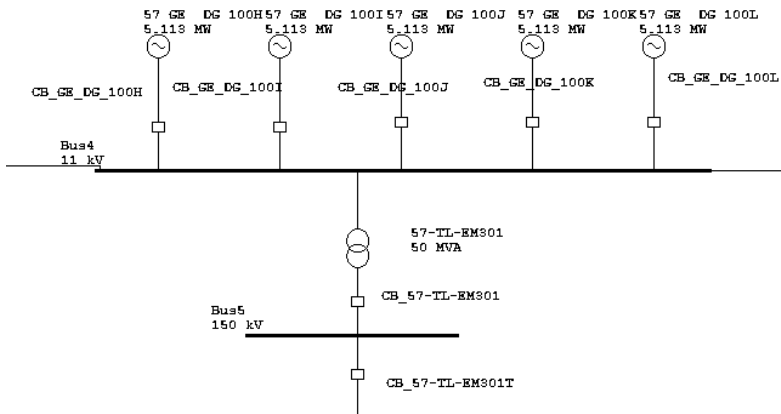
3.3 Kapasitas Pembangkit dan Kategori Pembebanan

Jaringan komposit diatas bus 150 kV pada Gambar 3.4 SLD adalah sistem pembangkit terdiri dari dua jenis pembangkitan yaitu PLTD dan PLTU. Secara detail isi jaringan komposit digambarkan pada gambar 3.5 dan gambar 3.6. dimana terdapat 9 un it PLTD dengan kapasitas masing masing unit 5 MW , unit ini dipergunakan untuk menyuplai beban pada kondisi darurat apabila kinerja unit PLTU terganggu ataupun terdapat *maintenance* yang mengharuskan unit untuk *shut down*. Selain 29actor29 sebagai pem –back up , unit ini tidak dioperasikan terus menerus karena menggunakan bahan bakar minyak sehingga dalam pengoperasiannya sangat mahal dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga upa yang menggunakan bahan bakar batu bara. PLTU atau *coal plant* dioperasikan untuk digunakan menyuplai beban harian normal, dalam pengoperasiannya terdapat 4 unit yang masing – masing unit memiliki kapasitas pembangkitan 34.2 MW.



Gambar 3.5. SLD jaringan komposit *coal plant* PT Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP

Gambar 3.3. Menunjukkan isi dari komposit *network* SLD Sistem kelitrikan PT Newmont Nusa Tenggara dalam simulasi ETAP pembangkitan yang terdiri dari 4 buah generator *coal plant* dengan kapasitas masing-masing generator sebesar 40,27 MVA dengan 30actor daya sebesar 0,85 dan daya keluaran operasi normal 28 MW. Kemudian tegangan generator dibangkitkan oleh 4 buah trafo step up 11/150 kV dengan kapasitas masing-masing 50 MVA. Dalam kondisi eksisting seluruh generator diesel tidak bekerja.



Gambar 3.6. SLD jaringan komposit *diesel plant* PT Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP

Gambar 3.6. menunjukkan isi dari komposit *network* SLD Sistem kelitrikan PT Newmont Nusa Tenggara dalam simulasi ETAP pembangkit yang terdiri dari 5 buah generator diesel dengan kapasitas masing-masing generator sebesar 6,391 MVA dengan 30actor daya sebesar 0,80. Kemudian tegangan generator dibangkitkan oleh sebuah trafo step up 11/150 kV dengan kapasitas 50 MVA

Berikut adalah Tabel kpasitas dan reaktansi pembangkit PT Newmont Nusa Tenggara :

Tabel 3.1 Rating Generator *Coal Plant*

<i>Coal Plant</i>	5X-GE-TG100
Manufaktur	ABB
Kapasitas	40270 kVA
PF Rating	0.85
KV Rating	11 kV
<i>Frequency Rating</i>	50 HZ
Kecepatan	1500 RPM
Arus Fasa	1700 A
Tipe Eksitasi	GLA 600 C
Jumlah Kutub	4

Tabel 3.2 Rating Diesel Generator

<i>Diesel Plant</i>	57-GE-DG100X
Manufaktur	Catepillar
Kapasitas	6391 kVA
PF Rating	0.8
KV Rating	11 kV
<i>Frequency Rating</i>	50 HZ
Kecepatan	1500 RPM

Tabel 3.3 Impedansi Generator *Coal plant* dan *Diesel plant*

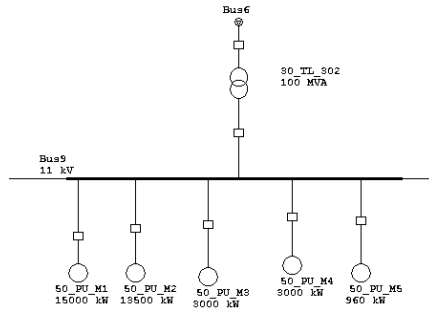
Generator	Daya		PF	Impedansi				
Kode	MW	MVA	(%)	Xd'' Ω	Xd' Ω	X2 Ω	Xo Ω	X/R Ω
5X-GE-TG100	34,229	40.27	85	15	24	15	6.3	35
57-GE-DG100X	5.113	6.391	80	15.6	22.63	17.51	12	26.21

3.4 Sistem Distribusi

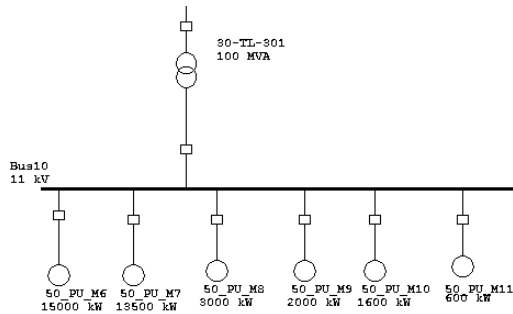
Sistem distribusi di PT Newmont Nusa Tenggara menggunakan sistem radial. Adapun tegangan menengah yang digunakan adalah 11 kV. Sistem memiliki 2 jenis transformator utama untuk menurunkan tegangan dari sistem 150 kV yaitu transformator 150kV diturunkan menjadi 11 kV dan transformator 150 kV di turunkan menjadi 33 kV. Data transformator ini dapat di lihat pada Tabel 3.4. Seperti pada gambar 3.3, Tegangan 11 kV yang terletak di Cosentrator di bagi menjadi dua kelompok untuk melayani beban yaitu s istem beban tegangan menengah 11 kV d an untuk diturunkan dari sistem 11kV menjadi 380 kV.

Sistem distribusi dari 150 kV diturunkan menjadi 33 kV .Sistem ini terbagi menjadi tiga kelompok pembebanan yaitu 33 / 6.6 kV, 33 / 3.3 kV dan 33 / 11 kV. Sistem 6.6 kV digunakan untuk melayani SWISS area, Sistem 3.3 KV digunakan untuk melayani Sejong Area dan Minning Area.

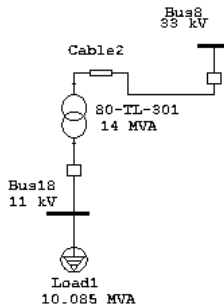
Sistem distribusi 11 kV terbagi menjadi Cosentrator dan Townsite. Sistem 11 kV di Cosentrator d igunakan untuk melayani beberapa motor – motor berkapasitas besar yang terbagi menjadi dua kelompok beban motor besar yaitu Cosentrator 1 dan Cosentrator 2. Beban ditiap kelompok terdiri dari motor yang memiliki kapasitas daya serap sebesar 15000 kW, 13500 kW, 3000 kW dan 960 kW. Beban Cosentrator 1 disuplay oleh Transformator 30-TL-302 sedangkan untuk kelompok beban Cosentrator 2 disuplay oleh transformator 30-TL-301 Motor – motor ini digunakan untuk membantu proses pengolahan dari batuan yang mengandung bahan tambang mulia dipisah dari mediumnya menjadi serbuk kosentrat logam mulia. Sistem pendistribusian di Cosentrator dapat dilihat pada gambar 3.7 dan gambar 3.8. Untuk sistem pendistribusian sistem 11/ 380 kV diwakili dengan *load lump* pada simulasi ETAP dan dapat dilihat pada gambar 3.9. Jenis beban disuplay oleh transformator 80-TL-301 d igunakan untuk kebutuhan rumah tangga , perkantoran fasilitas umum, dan penerangan jalan.



Gambar 3.7 SLD jaringan komposit Cosentrator 1 PT. Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP

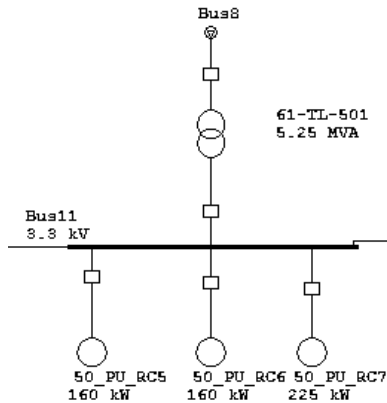


Gambar 3.8 SLD jaringan komposit Cosentrator 2 PT Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP

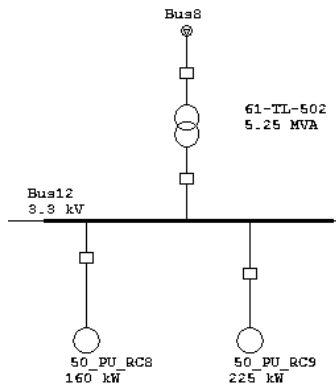


Gambar 3.9 SLD *load lump* PT Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP untuk mewakili Town Site , Office dan PJU

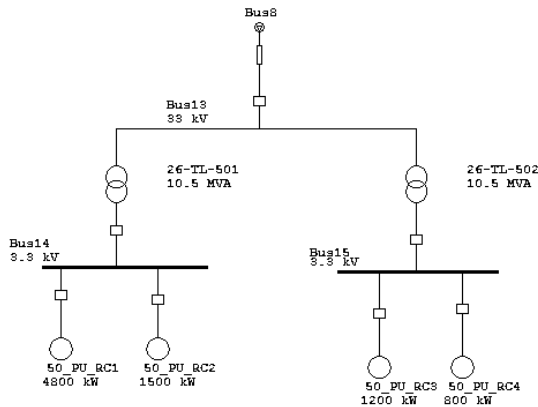
Sistem Tegangan menengah 3.3 kV digunakan pada pusat beban Ssejorong dan Mining. Sistem 33 kV diturunkan menggunakan transformator 61 –TL – 50X menjadi 3.3 kV untuk menyuplai beban di Ssejorong, seperti yang terlihat pada gambar 3.10 dan gambar 3.11. Sementara pusat beban Mining disuplay oleh transformator 26-TL-50X yang dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.10 SLD Sejorong 1 PT Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP



Gambar 3.11 SLD Sejorong 2 PT. Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP



Gambar 3.12 SLD Mining PT. Newmont Nusa Tenggara simulasi ETAP

Adapun data transformator yang ada diberikan pada table dibawah ini

Tabel 3.4 Data Transformator *Step-Up*

Transformator	Tegangan		Daya	Impedansi		
	Primer	Sekunder	Z (+)	Z (0)	X/R (+)	X/R (0)
	(kV)	(kV)	%	%	%	%
54-TL-EM301	11	150	6.5	6.5	23.7	23.7
54-TL-EM302	11	150	6.5	6.5	23.7	23.7
54-TL-EM303	11	150	6.5	6.5	23.7	23.7
54-TL-EM304	11	150	6.5	6.5	23.7	23.7
57-TL-EM301	11	150	6.5	6.5	23.7	23.7
57-TL-EM302	11	150	6.5	6.5	23.7	23.7

Tabel 3.5 Data Transformator *Step-Down*

Transformator	Tegangan		Daya	Impedansi		
	Primer	Sekunder	Z (+)	Z (0)	X/R (+)	X/R (0)
	(kV)	(kV)	%	%	%	%
24-TL-501	33	3.3	7	7	18.6	18.6
26-TL-501	33	3.3	7	7	18.6	18.6
30-TL-201	150	11	6.5	6.5	34.1	34.1
30-TL-202	150	33	6.56	7	27.3	27.3
30-TL-301	150	11	6.5	6.5	34.1	34.1
61-TL-501	33	3.3	6.56	7	27.3	27.3
61-TL-502	33	3.3	7	7	12.85	12.85
62-TL-401	33	6.6	7	7	12.85	12.85
62-TL-402	33	6.6	6.93	7	16.09	18.6
80-TL-301	33	11	6.93	7	16.09	18.6

Tabel 3.6 Data Parameter Saluran Transmisi

Transmission	Length	Tegangan	Impedansi					
			R (+)	R (0)	X (+)	X (0)	Y (+)	Y (0)
Line	(mile)	(kV)	ohm/1000ft	ohm/1000ft	ohm/1000ft	ohm/1000ft	ohm/1000ft	ohm/1000ft
58-TM-102	9.94	150	0.04337	0.08854	0.09724	0.46083	0.0000011	0.0000004
58-TM-103	9.94	150	0.04337	0.08854	0.09724	0.46083	0.0000011	0.0000004
58-TM-104	9.94	150	0.04337	0.08854	0.09724	0.46083	0.0000011	0.0000004
Line 5	4.97	33	0.04337	0.08854	0.09724	0.46083	0.0000011	0.0000004
Cable 2	3.1	33	0.06671	0.75761	0.39141	0.25067	-	-
Cable 3	1.86	33	0.06671	0.75761	0.39141	0.25067	-	-

3.5 Data Beban

Pemodelan beban pada sistem kelitrikan PT Newmont Nusa Tenggara menggunakan dua jenis beban yaitu *lump load* dan beban motor yang merupakan motor induksi. Data *lump load* dan beban motor dapat dilihat pada table dibawah ini

Tabel 3.7 Data *Lump Load* di PT Newmont Nusa Tenggara

<i>Lump Load</i>		Lump 1
Kapasitas		10 085 kVA
PF Rating		0.8527 %
KV Rating		11 kV
<i>Frequency Rating</i>		50 HZ
Arus Rating		529.3 A
<i>Motor Load</i>		
MW		6.88
MVar		4.214
<i>Static Load</i>		
MW		1.72
MVar		1.054

Tabel 3.8 Data Parameter Beban Motor di PT Newmont Nusa Tenggara

Motor	Kode	Tegangan	Daya	Power factor
		(kV)	(kW)	%
Motor 1	50_PU_M1	11	15000	80
Motor 2	50_PU_M2	11	13500	97
Motor 3	50_PU_M3	11	3000	99
Motor 4	50_PU_M4	11	3000	85
Motor 5	50_PU_M5	11	960	80
Motor 6	50_PU_M6	11	15000	80
Motor 7	50_PU_M7	11	13500	90
Motor 8	50_PU_M8	11	3000	99

Lanjutan Tabel 3.8

Motor 9	50_PU_M9	11	2000	80
Motor 10	50_PU_M10	11	1600	90
Motor 11	50_PU_M11	11	600	80
Motor 21	50_PU_RC8	3.3	160	88
Motor 22	50_PU_RC6	3.3	160	88
Motor 23	50_PU_RC7	3.3	225	89.5
Motor 24	50_PU_RC5	3.3	160	88
Motor 25	50_PU_RC9	3.3	225	89.5
Motor 26	50_PU_RC1-	3.3	4800	89.4
Motor 27	50_PU_RC2-	3.3	1500	85
Motor 28	50_PU_RC3-	3.3	1200	75
Motor 29	50_PU_RC4	3.3	800	85
Motor 30	62-PU-001-M1	6.6	1679	86
Motor 31	62-PU-002-M1	6.6	1679	86
Motor 32	62-PU-003-M1	6.6	1679	86
Motor 33	62-PU-004-M1	6.6	1679	86
Motor 34	62-PU-005-M1	6.6	1679	86
Motor 35	62-PU-006-M1	6.6	1679	86
Motor 36	62-PU-007-M1	6.6	1679	86
Motor 37	62-PU-008-M1	6.6	1679	86
Motor 38	62-PU-009-M1	6.6	1679	86

3.6 Pemodelan Sistem

3.6.1 Model Rangkaian Generator

Pemodelan generator untuk simulasi kestabilan transien menggunakan rangkaian ekivalen yang cukup kompleks. Data – data yang dibutuhkan dalam studi transient ini yaitu reaktansi dan *time constant* yang dapat diperoleh dari *datasheet* generator yang dikeluarkan oleh pabrikan. Berikut ini adalah tabel reaktansi dan *time constan* 5X-GE-TG100 dan 57 GE DG 100X

Tabel 3.9 Data reaktansi generator 5X-GE-TG100

DESKRIPSI	SIMBOL	REAKTANSI	
		SATURATED	UNSATURATED
<i>Direct axis synchronous</i>	X_d	173	200
<i>Direct Axis transient</i>	X_d'	22.2	25.8
<i>Direct axis sub-transient</i>	X_d''	13.9	16.4
<i>Quadrature axis synchronous</i>	X_q	-	-
<i>Quadrature axis transient</i>	X_q'	-	-
<i>Quadrature axis sub-transient</i>	X_q''	-	-
<i>Negative Sequence</i>	X_2	16.4	18.86
<i>Zero Sequence</i>	X_0	6.7	7.7

Tabel 3.10 Data time constant 5X-GE-TG100

DESKRIPSI	SIMBOL	Time Constant (S)
<i>Direct Axis OC transient</i>	T_{do}	1.06
<i>Direct Axis OC transient</i>	T_d	0.026
<i>Direct axis SC sub-transient</i>	$T'd$	9.71
<i>Direct axis SC sub-transient</i>	$T'do$	0.19

Tabel 3.11 Data reaktansi generator 57 GE DG 100X

DESKRIPSI	SIMBOL	REAKTANSI	
		SATURATED	UNSATURATED
<i>Direct axis synchronous</i>	X_d		194.4
<i>Direct Axis transient</i>	X_d'		26.6
<i>Direct axis sub-transient</i>	X_d''		18.3
<i>Quadrature axis synchronous</i>	X_q		116.6
<i>Quadrature axis transient</i>	X_q'		-
<i>Quadrature axis sub-transient</i>	X_q''		22.9
<i>Negative Sequence</i>	X_2		20.6
<i>Zero Sequence</i>	X_0		13.2

Tabel 3.12 Data *time constant* 57 GE DG 100X

DESKRIPSI	SIMBOL	Time Constant (S)
<i>Direct Axis OC transient</i>	T _{do}	3.63
<i>Direct Axis OC transient</i>	T _d	0.497
<i>Direct axis SC sub-transient</i>	T' _d	0.20
<i>Direct axis SC sub-transient</i>	T'' _{do}	0.18

3.6.2 Konstanta Inertia

Selain data generator rekatansi dan *time constant* , data penting yang diperlukan untuk mendapatkan hasil akurat dari studi kestabilan transien yaitu inersia dari generator. Inerisa dari g enerator 5X-GE-TG100 diperoleh dari datasheet berupa data torque (WR^2) dan kecepatan putar generator (rpm).

$$WR^2 = 85226 \text{ (lb-ft}^2\text{)}$$

$$\text{rpm} = 1500 \text{ rpm}$$

$$H = \frac{2.31 \times 10^{-10} \times WR^2 \times RPM^2}{MVA}$$

$$H = \frac{2.31 \times 10^{-10} \times 85226 \times 1500^2}{40.27}$$

$$= 1,099$$

3.6.3 Model Eksitasi

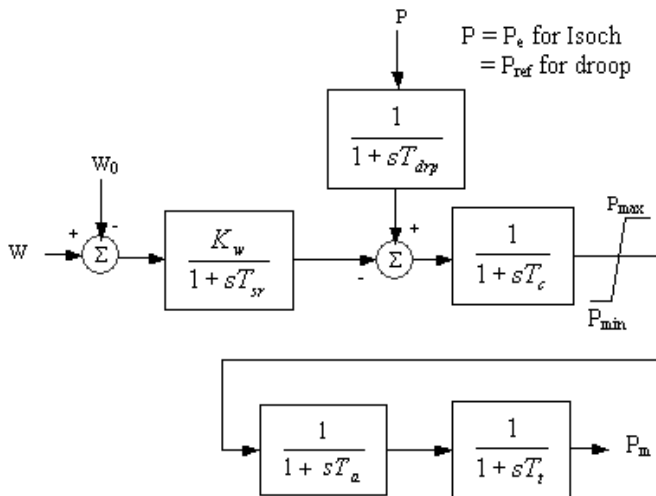
Sistem eksitasi yang digunakan pada generator 5X-GE-TG100 sesuai datasheet yaitu GLA600C akan tetapi di dalam etap libraru tidak ada data yang tersedia sehingga dalam simulasi ETAP 7.0 untuk mensimulasikan menggunakan data *library* model *exciter* HPC. Tipe ini mempunyai karakteristik yang sama untk mensimulasikan AVR selama periode transien. Data *exciter* HPC simulasi menggunakan data tipikal dari ETAP. Blok diagram dari sistem eksitasi HPC dapat dilihat pada gamabr 3.13 dan parameter – parameter yang terdapat pada eksitasi HPC ditampilkan pada table 3.14.

Lanjutan Tabel 3.13

Parameter	Definition	Unit
SEmax	Value of excitation saturation function at E_{fdmax}	
TL	Integration time constant	Sec.
T4	Excitation system total delay	Sec.
TD	Stabilizing feedback time constant	Sec.
Tdsty	Voltage transducer filter time constant	Sec.
TE	Exciter time constant	Sec.
TF	Regulator stabilizing circuit time constant	Sec.
TP	Active power compensation time constant	Sec.
TQ	Reactive power compensation time constant	Sec.
VRmax	Maximum value of the regulator output voltage	p.u.
VRmin	Minimum value of the regulator output voltage	p.u.
Control Bus	Voltage feedback bus ID	

3.6.4 Model Governor

Kontrol steam turbin dari 5X-GE-TG100 sistem kelitrikan PT Newmont Nusa Tenggara menggunakan API 611 dengan standart NEMA. Pada model ETAP tidak terdapat iype governor ini, sehingga pada simulasi tugas akhir ini menggunakan tipe governor *General Purpose* (GP) yang memiliki karakteristik yang mirip dengan API 611. Untuk data parameter – parameter sistem governor yang digunakan yaitu berupa data typical dari governor type *General Purpose* GP yang terdapat pada library ETAP Diagram blok dari sistem governor *General Purpose* (GP) dapat dilihat pada gambar 3.14, sementara parameter – parameter yang terdapat pada governor type *general purpose* (GP) dapat dilihat pada tabel 3.14



Gambar 3.14 Diagram blok sistem governor tipe GP

Tabel 3.14 Parameter governor tipe GP

Parameter	Definisi	Unit
Mode	Droop or Isoch	
Droop	Steady-state speed droop	%
Pmax	Maximum shaft power	MW
Pmin	Minimum shaft power	MW
Ta	Actuator time constant	Sec.
Tc	Governor reset time constant	Sec.
Tdrp	Load sensor time constant	Sec.
Tsr	Speed relay time constant	Sec.
Tt	Turbine relay time constant	Sec.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DI PT NEWMONT NUSA TENGGARA

4.1 Pemodelan sistem kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara

Sistem kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara yang dimodelkan berdasarkan data-data ada dan dapat dilihat pada lampiran. Simulasi *transient stability* dilakukan setelah didapatkan pemodelan sistem. Pada tugas akhir ini analisis dilakukan saat terjadi pelepasan beban, *generator outage*, *motor starting*, dan hubung singkat dengan memperhatikan respon frekuensi, respon tegangan dan respon sudut rotor pada sistem. SLD sistem kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara dapat dilihat di lampiran.

4.2 Total Pembangkitan dan Beban PT Newmont Nusa Tenggara

Sistem kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara ketika beroperasi dengan beban penuh adalah sekitar 112.177MW, namun untuk saat ini masih belum beroperasi secara penuh. Saat ini sistem kelistrikan PT Newmont Nusa Tenggara beroperasi 80% dari operasi secara penuh. Akan tetapi pada tugas akhir ini hanya menggunakan model faktor pembebanan penuh dengan beberapa kasus untuk mengetahui respon kestabilan sistem saat terjadi gangguan.

Tabel 4.1 Total Pembangkitan dan Beban PT Newmont Nusa Tenggara dengan kategori pembebanan sesuai desain beban penuh.

	MW	MVAR	MVA	%PF
<i>Source (Swing Buses):</i>	112.177	69.521	131.973	85 <i>Lagging</i>
<i>Total Demand:</i>	112.177	69.521	131.973	85 <i>Lagging</i>
<i>Total Motor Load:</i>	95.501	59.186	112.354	85 <i>Lagging</i>
<i>Total Static Load:</i>	8.600	5.268	10.085	85 <i>Lagging</i>
<i>Apparent Losses:</i>	8.076	5.067		

4.3 Kasus Operasi

Berikut ini beberapa kasus yang disimulasikan untuk mengetahui respon dari sistem ketika terjadi gangguan transien, diantaranya :

- a) Generator *Outage* : Pada kondisi ini terdapat salah satu generator *coal plant* yang lepas dari
- b) Motor *trip* : Pada kondisi ini satu beban motor terbesar (*crusher* 15000 kW) *trip*.
- c) Hubung Singkat : Pada kondisi ini terjadi gangguan hubung singkat pada bus 150 kV, 33 kV, 11 kV, 6.6 kV dan 3.3 kV
- d) Motor *Starting* : Pada kondisi ini terjadi *starting* motor *crusher* 15000 kW

Dari kasus diatas, untuk studi kasus generator *outage*, motor *trip*, dan hubung singkat bus yang digunakan sebagai indikasi stabilitas sistem adalah :

- a) Bus 58 –TM102 : Bus yang berada dibawah generator yang mewakili profil tegangan 150 kV
- b) Bus 17 –DL202 : Bus yang berada dibawah bus 150 kV yang mewakili profil tegangan 33 kV
- c) Bus 30 –SG302 : Bus yang berada dibawah bus 150 kV yang mewakili profil tegangan 11 kV
- d) Bus 62-MC401 : Bus yang berada dibawah bus 150 kV yang mewakili profil tegangan 6.6 kV
- e) Bus 26-MC501 : Bus terjauh dari pembangkit yang mewakili profil tegangan 3.3 kV.

Untuk studi kasus motor *starting* bus yang digunakan sebagai indikasi stabilitas sistem adalah :

- a) Bus 58 –TM102 : Bus yang berada dibawah generator yang mewakili profil tegangan 150 kV
- b) Bus 30 –SG302 : Bus yang terhubung langsung dengan motor yang distart
- c) Bus 26-MC501 : Bus terjauh dari pembangkit yang mewakili profil tegangan 3.3 kV.

Langkah selanjutnya yang dilakukan dalam analisis stabilitas transien adalah:

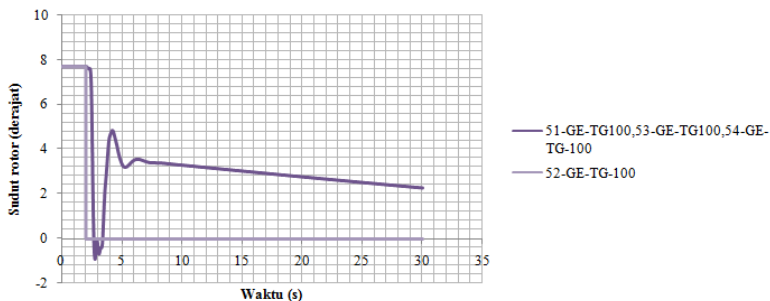
- Mengamati respon alami pada frekuensi dan tegangan sistem serta sudut rotor generator.
- Mengamati apakah respon frekuensi dan tegangan serta sudut rotor apakah kembali stabil atau tidak sesuai dengan standar.
- Mengamati apakah untuk kembali stabil apakah perlu dilakukan *load shedding* atau tidak

4.4 Simulasi dan Analisis Kestabilan Transien

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari analisis stabilitas transien setiap studi kasus yang dijalankan dilengkapi dengan gambar respon frekuensi dan tegangan dari hasil simulasi untuk memperjelas analisis.

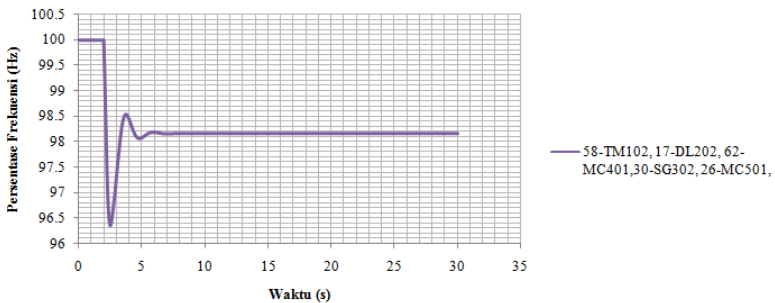
4.4.1. Studi kasus 1: Tiga Generator *coal plant* beroperasi dengan loading category desain (112,177MW). Satu generator outage dari sistem (t= 2s)

Pada kasus ini akan ditunjukkan respon sistem ketika disimulasikan dengan waktu iterasi 30 detik , tiga generator on dengan *loading category* desain (112.6MW). Pada detik ke 2 generator 52-GE-TG-100 *outage* dari sistem. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.1, 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.1 Respon sudut rotor saat 3 generator *coal plant* on dan generator 52-GE-TG-100 *outage* dari sistem.

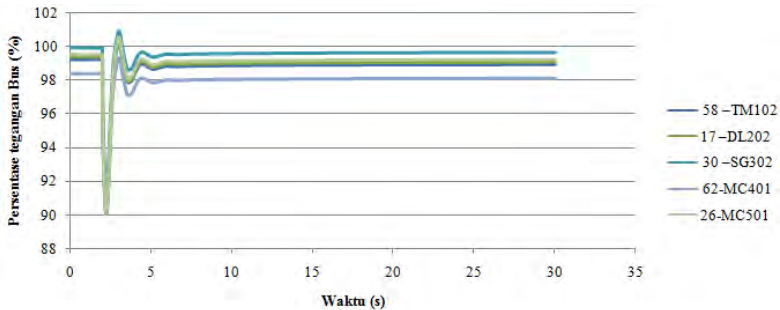
Pada Gambar 4.1 dapat ditunjukkan perubahan sudut rotor *relative* dari generator 52-GE-TG-100 dari sudut 7.69° seketika menjadi 0° pada detik ke 2. Sementara generator 51-GE-TG-100, 53-GE-TG-100, 54-GE-TG-100 sudut rotor berubah dari sebelum gangguan sebesar 7.69° turun menjadi 1.69° selama 1.14 detik setelah terjadi gangguan dan kembali ke posisi *steady state* pada sudut rotor 2.28° .



Gambar 4.2 Respon frekuensi sistem saat 3 Generator *Coal plant* on dan generator 52 –GE-TG-100 *outage* dari sistem.

Dari gambar 4.2 dapat ditunjukkan bahwa terjadi gangguan pada detik ke 2 dengan total waktu iterasi simulasi 30 detik ditunjukkan respon frekuensi sistem turun setelah detik ke 2 sehingga turun mencapai 96.3673 % atau 48,18 Hz pada detik 2.501 s. Penurunan ini dikarenakan hilangnya suplai daya dari generator 52 –GE-TG-100, namun suplai daya masih dapat terpenuhi oleh tiga generator, sehingga frekuensi sistem dapat kembali *steady state* pada frekuensi 49, 035 Hz mulai detik 5.001. Menurut standard ANSI/IEEE C37.106-1987 batas minimal untuk under frekuensi di level pertama yaitu 49.8 Hz.

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak stabil dan harus dilakukan mekanisme pelepasan beban untuk mempertahankan kestabilan sistem

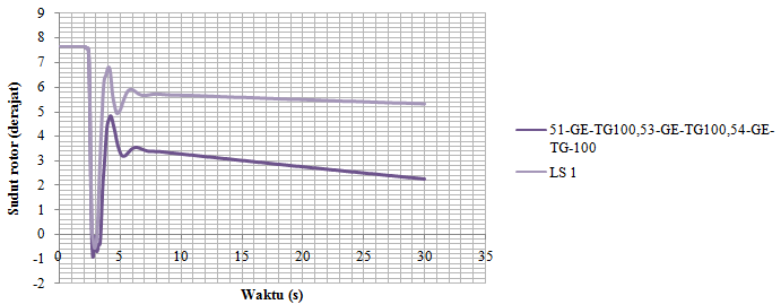


Gambar 4.3 Respon tegangan sistem saat 3 Generator *Coal plant* on dan generator 52 – GE-TG-100 *outage* dari sistem.

Pada Gambar 4.3 dapat ditunjukkan setelah terjadi gangguan tegangan pada masing masing bus sistem mengalami penurunan tegangan. Penurunan tegangan terbesar pada bus 26-MC501 adalah 90.2881% tegangan nominal bus, dan kembali *steady state* di tegangan 99.2041%. sedangkan pada bus 58-TM102 kembali *steady state* ditegangan 98.9048%, 17-DL202 kembali *steady state* ditegangan 99.0759%, 30-SG302 kembali *steady state* ditegangan 99.6733% , 62-MC401 kembali ke posisi *steady state* 98.1442 % dari tegangan nominalnya. Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem masih belum aman karena frekuensi belum berada kisaran frekuensi kerja aman.

4.4.2. Studi kasus 1: Tiga Generator *Coal Plant* Beroperasi dengan loading category desain (112,177MW). Satu Generator *outage* dari sistem dan *load shedding* ($t=2s$)

Pada kasus ini akan ditunjukkan respon sistem ketika disimulasikan dengan waktu iterasi 30 detik , tiga generator on dengan *loading category* desain (112.6MW). Pada detik ke 2 generator 52-GE-TG-100 *outage* dari sistem, sistem tidak stabil sehingga dilakukan *load shedding*. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.4, 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.4 Respon sudut rotor saat 3 Generator *coal plant* on dan generator 52-GE-TG-100 outage dari sistem load Shedding 1.

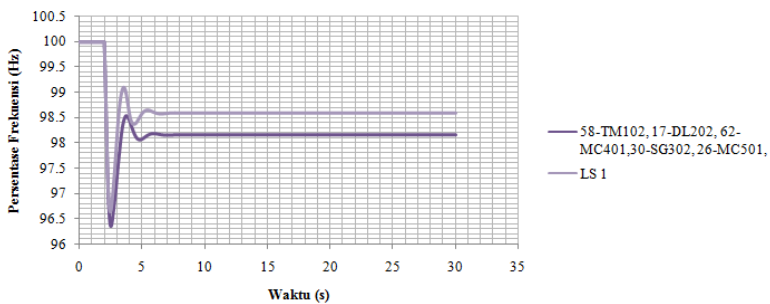
Pada gambar 4.4 diatas dapat dianalisi bahwa :

- Garis ungu tua (Sebelum *load Shedding*)

Menunjukkan perubahan sudut rotor unit generator 51- GE –TG100, 53- GE –TG100, 54- GE –TG100 dari kondisi awal sebelum gangguan 7.69^0 menjadi -1.012^0 pada detik 2.761 saat terjadi gangguan dan kembali ke keadaan *steady state* sudut rotor 2.28^0 . Kondisi Sudut rotor seperti ini masih stabil.

- Garis ungu muda (Setelah *load Shedding*)

Respon sudut rotor unit generator 51- GE –TG100, 53- GE –TG100, 54- GE –TG100 dari kondisi awal sebelum gangguan 7.69^0 menjadi -0.091^0 saat gangguan dari sebelumnya -1.012^0 . Setelah dilakukan *load Shedding 1* sudut rotor kembali ke keadaan *steady state* menjadi 5.35^0 dari sebelumnya 2.28^0 . Kondisi Sudut rotor seperti ini masih stabil.



Gambar 4.5 Respon frekuensi sistem saat 3 Generator *coal plant* on ,generator 52-GE-TG-100 outage dan load Shedding 1.

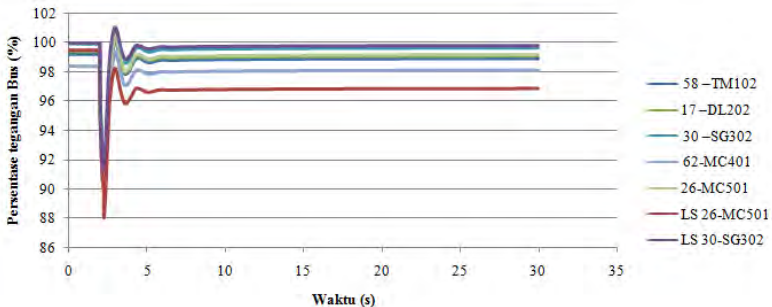
Pada gambar 4.5 diatas dapat dianalisi bahwa :

- Garis ungu tua (Sebelum *load Shedding*)

Menunjukkan perubahan frekuensi respon frekuensi sistem turun setelah detik ke 2 sehingga turun mencapai 96.3673 % atau 48,18 Hz pada detik 2.501 s. Frekuensi sistem dapat kembali *steady state* pada frekuensi 49, 035 Hz mulai detik 5.001. Kondisi frekuensi seperti ini belum stabil.

- Garis ungu muda (Setelah *load Shedding* 1)

Respon frekuensi sistem sebelum gangguan 50 Hz, Ketika terjadi gangguan frekuensi sistem mencapai level terendah mencapai 48.39 Hz detik 2.382 s. Dilakukan pelepasan beban sesuai standart ANSI/IEEE C37.106-1987 sebesar 10 % total beban, Waktu pelepasan bersarkan besarnya frekuensi yang dicapi sebesar 98.83% pad detik 2.121 dengan waktu putus 6 *cycle* sehingga di dapatkan waktu pemutusan 2.121 + 0.12 = 2.241 detik.Frekuensi sistem dapat kembali *steady state* pada frekuensi 49, 42 Hz mulai detik 3.862. Kondisi frekuensi seperti ini stabil.



Gambar 4.6 Respon tegangan sistem saat 3 Generator *Coal plant* on , generator 52 – GE-TG-100 outage dan *load shedding* 1.

Pada gambar 4.6 diatas dapat dianalisi bahwa :

- Kondisi sebelum *load shedding*

Menunjukkan setelah terjadi gangguan tegangan pada masing masing bus sistem mengalami penurunan tegangan. Penurunan tegangan terbesar pada bus 26-MC501 adalah 90.2881% tegangan nominal bus, dan kembali *steady state* di tegangan 99.2041%. sedangkan pada bus 58-TM102 kembali *steady state* ditegangan 98.9048%, 17-DL202 kembali *steady state* ditegangan 99.0759%, 30-SG302 kembali *steady state*

ditegangan 99.6733% , 62-MC401 kembali ke posisi *steady state* 98.1442 % dari tegangan nominalnya.

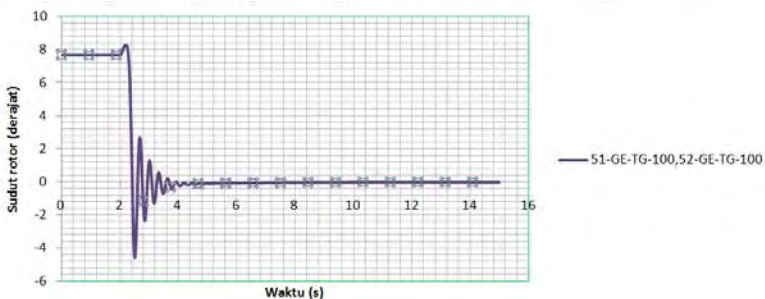
- Kondisi setelah *load shedding*

Kondisi tegangan sistem dengan melakukan *load shedding* ditunjukkan dalam garis warna merah untuk menggambarkan bus 26-MC501 yang sebelumnya mencapai kondisi *steady state* 99.2041 % menjadi 96.896 %, sedangkan pada bus 30-SG302 kembali ke kondisi *steady state* 99.782. Hal ini terjadi karena perubahan besarnya arus yang mengalir di tiap bus.

Dari data diatas dapat disimpulkan sistem stabil dengan total pelepasan beban sebesar 11.503 MW atau 10.25% dari total beban system

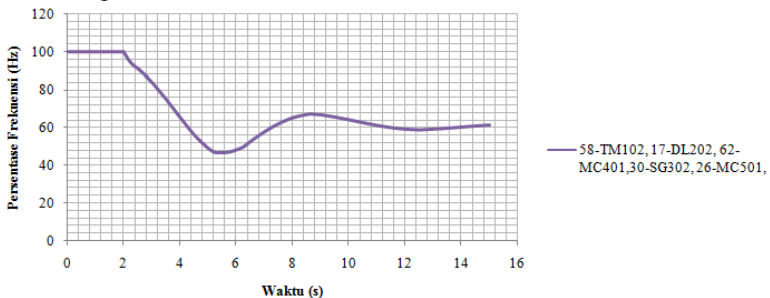
4.4.3. Studi kasus 3: Dua Generator *Coal Plant* Beroperasi dengan *loading category* desain (112,177MW MW). Dua generator *outage* dari sistem ($t=2s$)

Pada kasus ini akan ditunjukkan respon sistem ketika disimulasikan dengan waktu iterasi 30 detik , tiga generator on dengan *loading category* desain (112.177MW). Pada detik ke 2 generator 53-GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 *outage* dari sistem. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.7, 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.7 Respon sudut rotor saat 2 Generator *Coal plant* on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 *outage*.

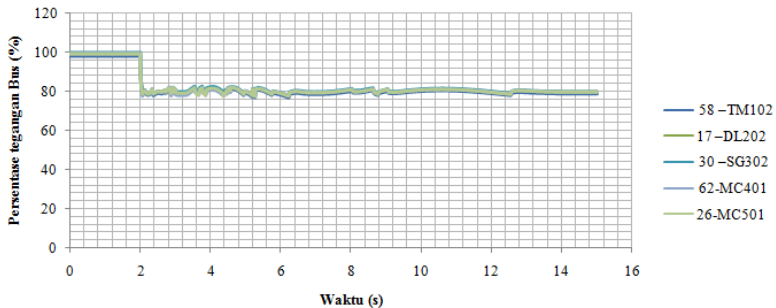
Pada Gambar 4.7 dapat ditunjukkan perubahan sudut rotor *relative* dari generator 53-GE-TG-100 dan 54-GE-TG-100 dari sudut 7.69° seketika menjadi 0° pada detik ke 2. Sementara generator 51-GE-TG-100, 52-GE-TG-100 sudut rotor berubah dari sebelum gangguan sebesar 7.69° turun menjadi -4.37° selama 0.22 detik setelah terjadi gangguan dan kembali ke posisi *steady state* pada sudut rotor 0° . Kondisi seperti ini tidak stabil.



Gambar 4.8 Respon frekuensi sistem saat 2 Generator *coal plant* on ,generator 53-GE-TG-100 dan 54-GE-TG-100 outage.

Dari gambar 4.8 dapat ditunjukkan bahwa terjadi gangguan pada detik ke 2 dengan total waktu iterasi simulasi 15 detik ditunjukkan respon frekuensi sistem turun setelah detik ke 2 sehingga turun mencapai 46.6286 % atau 23.31 Hz pada detik 5.421 s. Penurunan ini dikarenakan hilangnya suplai daya dari generator 53 –GE-TG-100, 54 –GE-TG-100, sehingga pembangkitan hanya mampu menyuplai daya maksimum dari dua unit sebesar 72 MW dengan frekuensi sistem yang dapat dipertahankan pada keadaan *steady state* pada frekuensi 61. 27 % atau 30.64Hz mulai detik 13.912. Menurut standard ANSI/IEEE C37.106-1987 batas minimal untuk under frekuensi di level pertama yaitu 49.8 Hz.

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak stabil dan harus dilakukan mekanisme pelepasan beban untuk mempertahankan kestabilan sistem.



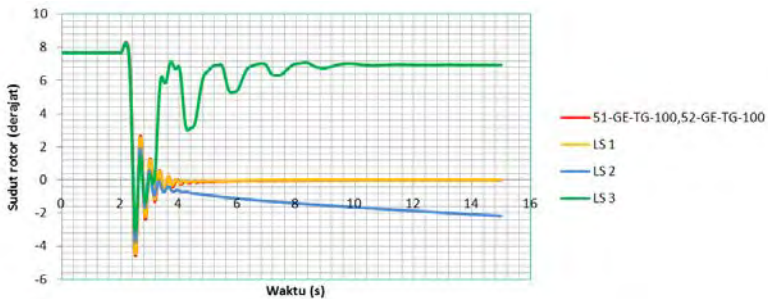
Gambar 4.8 Respon tegangan sistem saat 2 Generator *coal plant* on ,generator 53-GE-TG-100 dan 54-GE-TG-100 outage.

Pada Gambar 4.8 dapat ditunjukkan setelah terjadi gangguan tegangan pada masing masing bus sistem mengalami penurunan tegangan. Penurunan tegangan terbesar pada bus 26-MC501 adalah 78.0853% tegangan nominal bus, dan kembali *steady state* di tegangan 80.147% selama 3.92 detik dan ini tidak sesuai dengan standar tegangan PLN di sistem ini yang menggunakan tegangan maksimum 150 kV dengan toleransi minimum sebesar -10%.

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak aman karena frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator tidak dalam kondisi aman.

4.4.4. Studi kasus 4: Dua Generator *Coal Plant* Beroperasi dengan loading category desain (112,177MW MW). Dua Generator outage dari sistem dan *load shedding* ($t=2s$)

Pada kasus ini akan ditunjukkan respon sistem ketika disimulasikan dengan waktu iterasi 30 detik , dua generator on dengan loading category desain (112.177MW). Pada detik ke 2 generator 53-GE-TG-100 dan 54-GE-TG-100 outage dari sistem, sistem tidak stabil sehingga dilakukan *load shedding*. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.10, 4.11 dan 4.12.



Gambar 4.10 Respon sudut rotor saat 2 Generator *Coal plant* on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 *outage* dengan *load shedding*.

Pada gambar 4.10 diatas dapat dianalisis bahwa :

- Garis merah (Sebelum *load Shedding*)

Menunjukkan perubahan sudut rotor unit generator 51- GE –TG100, 52- GE –TG100 dari sebelum gangguan sebesar 7.69° turun menjadi -4.37° . Sudut rotor kembali ke kondisi *steady state* pada sudut rotor 0° dan keadaan ini tidak stabil.

- Garis kuning (*load Shedding 1*)

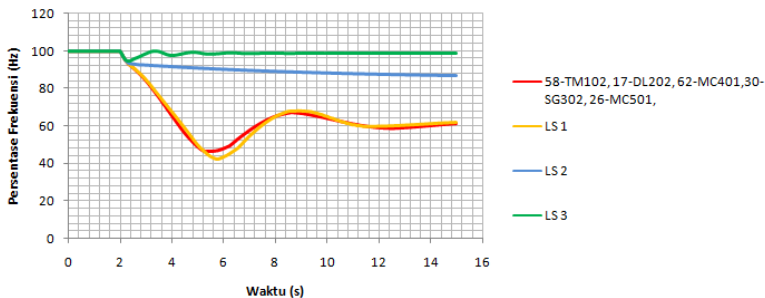
Respon sudut rotor unit generator 51- GE –TG100, 53- GE –TG100, 54- GE –TG100 dari kondisi awal sebelum gangguan 7.69° menjadi -4.21° saat gangguan dari sebelumnya -4.37° , sebelum dilakukan *load shedding*. Sudut rotor kembali ke kondisi *steady state* pada sudut rotor 0° dan keadaan ini tidak stabil.

- Garis biru (*load Shedding 2*)

Respon sudut rotor unit generator 51- GE –TG100, 53- GE –TG100, 54- GE –TG100 dari kondisi awal sebelum gangguan 7.69° turun ke posisi terendah -3.61° saat dilakukan *load shedding*. Sudut rotor kembali ke kondisi *steady state* pada sudut rotor -2.31° dan keadaan ini masih dalam batas stabil untuk standar sudut rotor.

- Garis hijau (*load Shedding 3*)

Respon sudut rotor unit generator 51- GE –TG100, 53- GE –TG100, 54- GE –TG100 dari kondisi awal sebelum dilakukan *load shedding* adalah 7.69° turun ke posisi terendah -3 . Sudut rotor kembali ke kondisi *steady state* pada sudut rotor 6.82° setelah dilakukan *load shedding 1, 2 dan 3*. Keadaan ini masih dalam batas stabil untuk standar sudut rotor.



Gambar 4.11 Respon frekuensi sistem saat 2 Generator *Coal plant* on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 outage dengan *load shedding*.

Pada gambar 4.11 diatas dapat dianalisi bahwa :

- Garis merah (Sebelum *load Shedding*)

Menunjukkan perubahan frekuensi respon frekuensi frekuensi sistem turun setelah detik ke 2 sehingga turun mencapai 46.6286 % atau 23.31 Hz pada detik 5.421 s. frekuensi sistem yang dapat dipertahankan pada keadaan *steady state* pada frekuensi 61. 27 % atau 30.64Hz mulai detik 13.912. Kondisi frekuensi seperti ini belum stabil.

Agar respon frekuensi sistem kembali stabil, maka diperlukan *load shedding*. Standart *load shedding* yang digunakan adalah standart *load shedding* 3 langkah ANSI/IEEE C37.106-1987.

- Garis jingga (Setelah *load Shedding* 1)

Pelepasan beban pertama dilakukan apabila frekuensi mencapai 98.8% dari frekuensi nominalnya dengan delay 6 *cycle* atau 0.12 s sesuai standar ANSI/IEEE C37.106-1987. Waktu pelepasan diperoleh dari penjumlahan waktu pencapaian frekuensi 98.8% dengan delay 6 *cycle* yaitu $2.041 + 0.12 = 2.161$. Di detik inilah waktu *load shedding* 1 dengan beban yang dilepas sebesar 10% dari beban total atau 11.218 MW. Dari hasil *load sheeding* frekuensi sistem masih tidak aman.

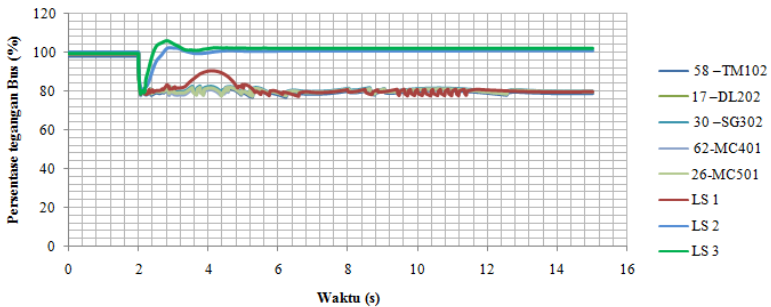
- Garis biru (Setelah *load Shedding* 1)

Load shedding kedua dilakukan karena langkah *load shedding* 1 belum menjadikan sistem kembali normal. Load sheeding kedua dilakukan ketika frekuensi mencapai 98.16 % dengan delay 6 *cycle* ini dicapai pada waktu 2.081. Waktu pelepasan yaitu $2.081 + 0.12 = 2.201$ s, Pada

detik ini beban dilepas sebesar 15% dari total beban yang tersedia yaitu 15.143 MW. Dari hasil *load shedding* ini sistem masih belum aman sehingga perlu dilakukan pelepasan lagi.

- Garis hijau (Setelah *load Shedding* 1)

Load shedding ketiga dilakukan saat frekuensi mencapai 97,5%. Dari kasus sebelumnya, frekuensi mencapai 97,5 pada waktu 2.201 s. Dengan delay yang sama sebesar 0.12 s, maka *load shedding* ketiga dilakukan pada waktu $2.201 + 0.12 = 2.221$ s beban yang dilepas sekitar 15 MW. Setelah dilakukan *load shedding* tahap ke 3 maka frekuensi naik dari 46.95 Hz menjadi menjadi ke kondisi *steady state* 59.4 Hz



Gambar 4.12 Respon tegangan sistem saat 2 Generator *Coal plant* on , generator 53 – GE-TG-100 dan generator 54 – GE-TG-100 outage dengan *load shedding*.

Berdasarkan gambar 4.12 respon tegangan di bus 58-TM102, 17-DL202, 30-SG302, 62-MC401 dan 26-MC501. Ketika dilakukan *load shedding* 1 masih belum stabil, tegangan sistem bisa stabil setelah dilakukan *load shedding* tahap ke-2. *Load shedding* tahap ke 3, respon tegangannya mengalami *voltage sagging* mencapai nilai terendah sebesar 78, 598% dari tegangan nominalnya pada detik ke 2.061. Tegangan bus menjadi stabil pada 101.85%.

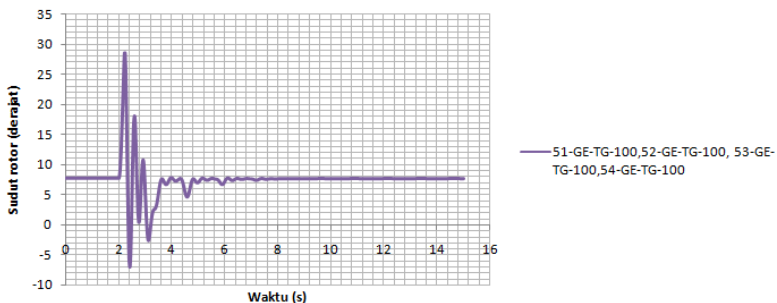
Dari hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa tegangan beroperasi dalam keadaan yang dapat ditoleransi. Dari data diatas dapat disimpulkan sistem stabil dengan total pelepasan beban sebesar

$$LS\ 1 + LS\ 2 + LS\ 3 = 11.503 + 16.336 + 14.830 = 42.669\ MW.$$

4.4.5. Studi kasus 5: Empat Generator Coal Plant Beroperasi dengan loading category desain (112,177MW). Short Circuit Bus 150 kV (58-TM102) dan load Shedding ($t=2s$)

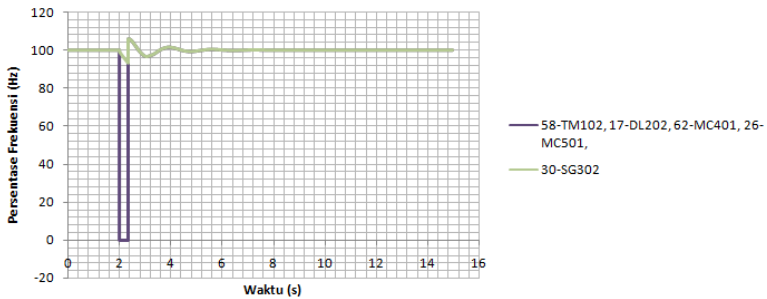
Pada kasus ini menunjukkan respon sistem ketika 4 generator *coal plant* beroperasi. Pada detik ke 2 terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 58-TM102, pada detik 2.32 CB 58-TM102, 30-TL-301, 30-TL-302, 30-TL-402, 30-TL-202 open dan kembali ditutup pada waktu detik ke 2.34 untuk *kliring* gangguan.

Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.13, 4.14 dan 4.15.



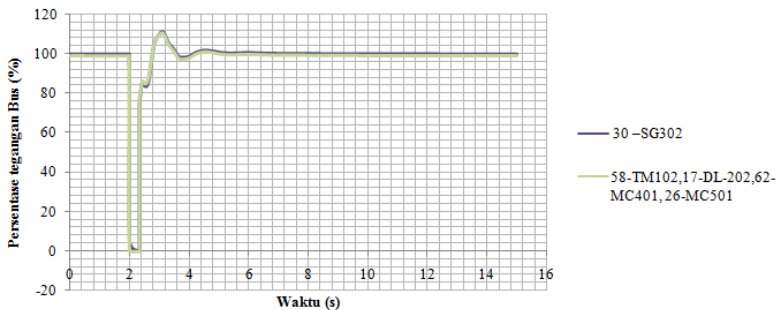
Gambar 4.13 Respon sudut rotor saat terjadi hubung singkat di 58-TM102 dengan *load shedding*

Pada gambar 4.13 dapat ditunjukkan perubahan sudut rotor dari generator 51-GE-TG-100, 52-GE-TG-100 , 53-GE-TG-100 dan 54-GE-TG-100, sudut rotor dari keadaan sebelumnya sebelum gangguan sebesar 7.69° menjadi 35.31° di detik 2.281 dan turun sampai melewati sudut 0° sebesar -11.84° pada detik 2.501. Setelah gangguan sudut rotor kembali ke keadaan *steady state* pada sudut rotor 7.68° .



Gambar 4.14 Respon frekuensi sistem saat terjadi hubung singkat di 58-TM102 dengan *load shedding*

Dari gambar 4.14 dapat ditunjukkan bahwa gangguan pada detik ke 2 dengan waktu iterasi simulasi 15 detik, menunjukkan respon frekuensi sistem yang ditunjukkan pada bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401, 26-MC501 ketika terjadi gangguan, frekuensi turun sampai 0Hz selama 0.34 detik. Kemudian frekuensi naik mencapai 104.8% kembali ke posisi *steady state* 100% detik 5.121. Sementara pada bus 30-SG302 respon frekuensi yang ditunjukkan pada garis abu-abu, respon frekuensi menurun mencapai titik terendah 95.5% dan kemabali ke posisi *steady state* pada detik 5.121. Respon frekuensi yang ditunjukkan bus 30-SG302 terjadi karena memiliki beban motor yang kapasitas terbesar 15 MW dan total beban motor 35.73 MW. Beban motor ini ketika sesaat tidak teraliri alur listrik akibat saluran terputus, energi yang masih tersimpan pada motor berupa putaran, seolah –olah menjadi generator dengan menyuplai energi ke sistem , sehingga pada bus 30-SG302 respon frekuensi tidak mencapai titik terendah 0 Hz.



Gambar 4.15 Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 58-TM102 dengan *load shedding*

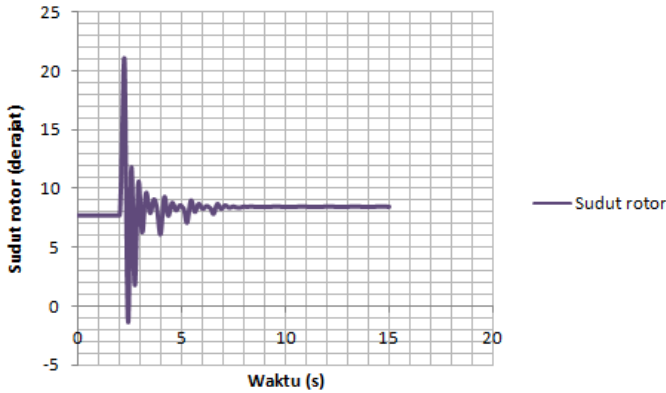
Pada Gambar 4.15 dapat ditunjukkan setelah terjadi gangguan tegangan pada masing masing bus sistem mengalami penurunan tegangan. Penurunan tegangan terbesar pada bus bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401, 26-MC501 sebesar 0% tegangan nominal bus selama 0.34, dan kembali *steady state* di tegangan 100%. sedangkan pada bus 30-SG302, tegangan turun terbesar adalah 1.24775% tegangan nominal bus pada detik 0.34 s, dan kembali *steady state* di tegangan 100%, hal ini masih dalam standar voltage sagging SEMI F47 yaitu hingga 1 s.

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem masih aman karena frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator masih dalam kondisi aman.

4.4.6 Studi kasus 6: Empat Generator Coal Plant Beroperasi dengan loading category desain (112,177MW). *Short Circuit Bus 33kV (17-DL201) dan load Shedding (t= 2s)*

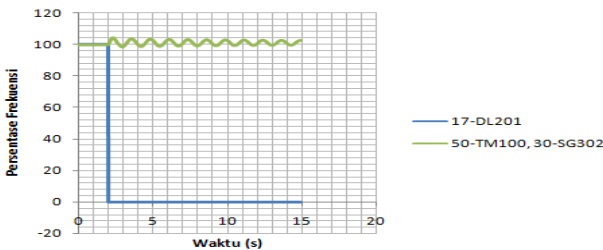
Pada kasus ini menunjukan respon sistem ketika 4 generator coal plant beroperasi. Pada detik ke 2 terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 17-DL201, pada detik 2.32 CB 30-TL -202, CB 30-TL -202, CB 80-TL-301, CB 62 -TL -401 ,CB 61-TL-501, CB 61-TL-502, C 26-TL -501 open dan kembali ditutup pada waktu detik ke 2.34 untuk *kliring* gangguan.

Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.16, 4.17 dan 4.18.



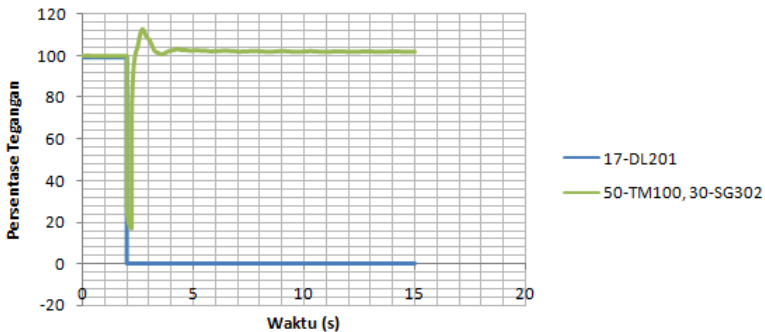
Gambar 4.16 Respon sudut rotor saat terjadi hubung singkat di 17-DL201 dengan *load shedding*

Pada gambar 4.16 dapat ditunjukkan perubahan sudut rotor dari generator 51-GE-TG-100, 52-GE-TG-100, 53-GE-TG-100 dan 54-GE-TG-100, sudut rotor dari keadaan sebelumnya sebelum gangguan sebesar 7.69° menjadi 20.98° di detik 2.2. dan turun sampai melewati sudut 0° sebesar -0.97° pada detik 2.401. Setelah gangguan sudut rotor kembali ke keadaan *steady state* pada sudut rotor 8.42° .



Gambar 4.17 Respon frekuensi sistem terjadi hubung singkat di 17-DL201 dengan *load shedding*

Dari gambar 4.17 dapat ditunjukkan bahwa gangguan pada detik ke 2 dengan waktu iterasi simulasi 15 detik, menunjukkan respon frekuensi sistem yang ditunjukkan pada bus 58-TM102 dan 30-SG302. Sementara untuk bus . 62-MC401, 26-MC501 terletak dibawah bus 17-DL201 sehingga kondisinya terwakili oleh bus 17-DL201. Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa kondisi frekuensi bus 17-DL201 terus mengalami kondisi 0% dari kondisi awal 100% sebelum gangguan. Sementara di bus 58-TM102 dan 30-SG302 , kondisi frekuensi awal sebelum gangguan 100% dan sesaat terjadi gangguan frekuensi naik mencapai 103.9% pada waktu 2.181 dan turun kembali ke kondisi 99.39⁰ pada waktu 2.381. dan terus mengalami osilasi dengan amplitude sama dengan kondisi frekuensi maksimum sebelumnya yaitu 103.9%. Karena frekuensi masih berada diatas standar ANSI/IEEE C37.106-1987, sistem masih stabil untuk bus 58-TM102 dan 30-SG302. Dapat disimpulkan perlu dilakukan pelepas beban yang terhubung dengan bus 17-DL201.



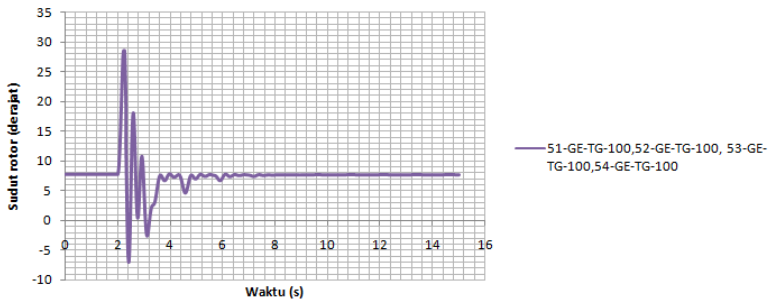
Gambar 4.18 Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 17-DL201 dengan *load shedding*

Dari gambar 4.18 dapat ditunjukkan bahwa gangguan pada detik ke 2 dengan waktu iterasi simulasi 15 detik, menunjukkan respon tegangan sistem yang ditunjukkan pada bus 58-TM102 dan 30-SG302. Sementara untuk bus . 62-MC401, 26-MC501 terletak dibawah bus 17-DL201 sehingga kondisinya terwakili oleh bus 17-DL201. Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa kondisi frekuensi bus 17-DL201 terus

mengalami kondisi 0% dari kondisi awal 100% sebelum gangguan. Sementara di bus 58-TM102 dan 30-SG302 , kondisi frekuensi awal sebelum gangguan 100% dan sesaat terjadi gangguan, tegangan menurun mencapai 19.2% ditempuh dalam waktu 0.2 detik. Tegangan kembali naik pada kondisi hingga mencapai 109.2% pada waktu detik 2.561, tegangan kembali turun hingga mencapai kondisi *steady state* 101.93 % dari tegangan nominalnya. Dapat disimpulkan perlu dilakukan pelepasan beban yang terhubung dengan bus 17-DL201.

4.4.7 Studi kasus 7: Empat Generator *Coal Plant* Beroperasi dengan loading category desain (112,177MW). *Short Circuit Bus 11V (30-SG302) dan load Shedding (t= 2s)*

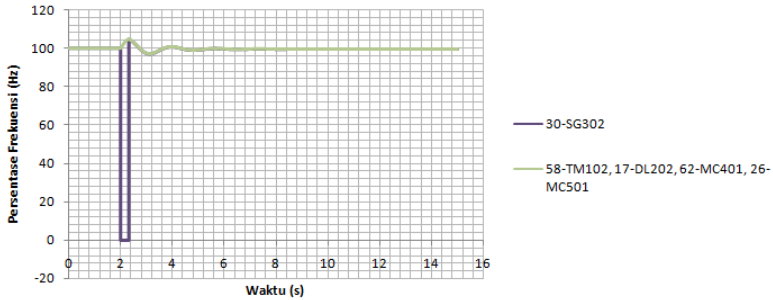
Pada kasus ini menunjukan respon sistem ketika 4 generator *coal plant* beroperasi. Pada detik ke 2 terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus SG -301, pada detik 2.22 CB 30-TL-302 , CB 50-PUM1, CB 50-PUM2, CB 50-PUM3 CB 50-PUM4, CB 50-PUM5, CB open dan kembali ditutup pada waktu detik ke 2.34 untuk *kliring* gangguan. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.19, 4.20 dan 4.21.



Gambar 4.19 Respon sudut rotor saat terjadi hubung singkat di 30-SG302 dengan *load shedding*

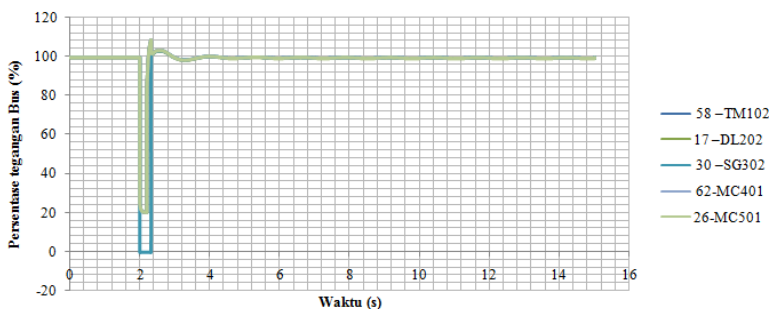
Pada gambar 4.19 dapat ditunjukkan perubahan sudut rotor dari generator 51-GE-TG-100, 52-GE-TG-100 , 53-GE-TG-100 dan 54-GE-TG-100, sudut rotor dari keadaan sebelumnya sebelum gangguan

sebesar 7.69^0 menjadi 19.35^0 di detik 2.2 dan turun sampai melewati sudut 0^0 sebesar -0.31^0 pada detik 2.381. Setelah gangguan sudut rotor kembali ke keadaan *steady state* pada sudut rotor 7.6^0 .



Gambar 4.20 Respon frekuensi sistem saat terjadi hubung singkat di 30-SG302 dengan *load shedding*

Dari gambar 4.20 dapat ditunjukkan bahwa gangguan pada detik ke 2 dengan waktu iterasi simulasi 15 detik, menunjukkan respon frekuensi sistem yang ditunjukkan pada garis abu-abu, bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401, 26-MC501 ketika terjadi gangguan, frekuensi naik sampai 104.666Hz pada detik 0.321 s. Kemudian frekuensi turun mencapai 98.27% dan kembali ke posisi *steady state* 99.83% detik 5.121. Sementara pada bus 30-SG302 respon frekuensi yang ditunjukkan pada garis ungu, respon frekuensi menurun mencapai titik terendah 0% dan kembali naik ke posisi 104.5% di detik 0.4, kemabali ke posisi *steady state* pada detik 5.0611 dengan frekuensi 99.5%. Respon frekuensi yang ditunjukkan bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401, 26-MC501 terjadi karena sistem kehilangan beban sesaat.



Gambar 4.21 Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 30-SG302 dengan *load shedding*

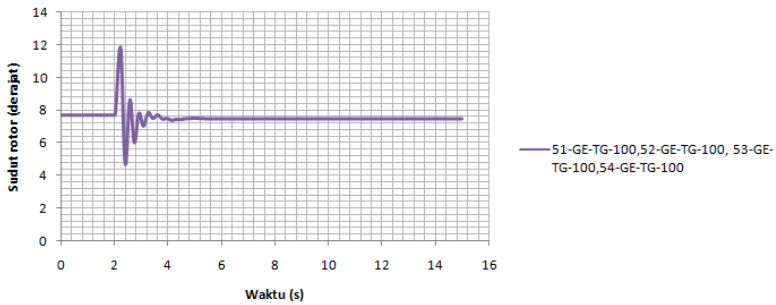
Pada Gambar 4.21 dapat ditunjukkan setelah terjadi gangguan tegangan pada masing masing bus sistem mengalami penurunan tegangan. Penurunan tegangan terbesar pada bus bus 30-SG302 sebesar 0% tegangan nominal bus selama 0.32 detik , dan kembali *steady state* di tegangan 100%. sedangkan pada bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401, 26-MC501, tegangan turun terbesar adalah 22.463% tegangan nominal bus pada detik ke 0.021 s, dan kembali *steady state* di tegangan 100%, hal ini masih dalam standar voltage sagging SEMI F47 yaitu hingga 1 s.

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem masih aman karena frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator masih dalam kondisi aman.

4.4.8 Studi kasus 8: Empat Generator *Coal Plant* Beroperasi dengan loading category desain (112,177MW). *Short Circuit Bus 6.6V (62-MC401) dan load Shedding (t= 2s)*

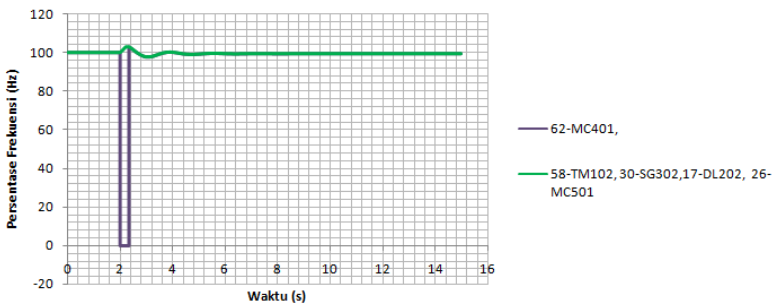
Pada kasus ini menunjukan respon sistem ketika 4 generator *coal plant* beroperasi. Pada detik ke 2 terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus SG -301, pada detik 2.22 CB 62-TL-401 , CB 62-PU-001-M1, CB 62-PU-003-M1, CB 62-PU-005-M1, CB 50-PU-007-M1, CB 62-PU-009-M1, CB open dan kembali ditutup pada waktu detik ke 2.34 untuk *kliring* gangguan.

Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.22, 4.23 dan 4.24.



Gambar 4.22 Respon sudut rotor saat terjadi hubung singkat di 62-MC401 dengan *load shedding*.

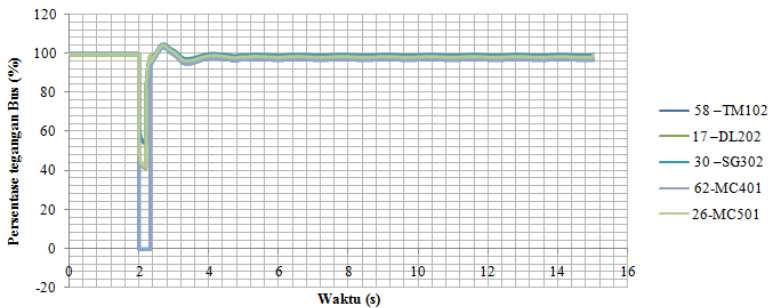
Pada gambar 4.19 dapat ditunjukkan perubahan sudut rotor dari generator 51-GE-TG-100, 52-GE-TG-100, 53-GE-TG-100 dan 54-GE-TG-100, sudut rotor dari keadaan sebelumnya sebelum gangguan sebesar 7.69° menjadi 11.95° di detik 2.241 dan turun sampai 4.981° pada detik 2.38. Setelah gangguan sudut rotor kembali ke keadaan *steady state* pada sudut rotor 7.48° .



Gambar 4.23 Respon frekuensi sistem saat terjadi hubung singkat di 26-MC401 dengan *load shedding*.

Dari gambar 4.23 dapat ditunjukkan bahwa gangguan pada detik ke 2 dengan waktu iterasi simulasi 15 detik, menunjukkan respon frekuensi sistem yang ditunjukkan pada garis hijau, bus 58-TM102, 17-

DL202, 30-SG302, 62-MC501 ketika terjadi gangguan, frekuensi naik sampai 102.96 Hz pada detik 0.261. Kemudian frekuensi turun mencapai 97.019% dan kembali ke posisi *steady state* 99.5% mulai detik 5.501. Sementara pada bus 62-MC401 respon frekuensi yang ditunjukkan pada garis ungu, respon frekuensi menurun mencapai titik terendah 0% dan kembali naik ke posisi 102.945% di detik 0.41, kemabali ke posisi *steady state* pada detik 5.501 dengan frekuensi 99.5%. Respon frekuensi yang ditunjukkan bus 58-TM102, 17-DL202, 30-SG302, 26-MC501 terjadi karena sistem kehilangan beban sesaat.



Gambar 4.24 Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 62-MC401 dengan *load shedding*.

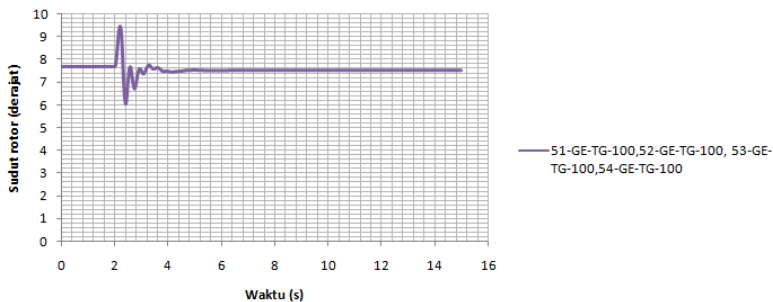
Pada Gambar 4.24 dapat ditunjukkan setelah terjadi gangguan tegangan pada masing masing bus sistem mengalami penurunan tegangan. Penurunan tegangan terbesar pada bus 62-MC401 sebesar 0% tegangan nominal bus selama 0.32 detik, dan kembali *steady state* di tegangan 100%. sedangkan pada bus 58-TM102, 17-DL202, 30-SG302, 62-MC501, tegangan turun terbesar adalah 44.173% tegangan nominal pada detik 0.021 s, dan kembali *steady state* di tegangan 100%, hal ini masih dalam standar voltage sagging SEMI F47 yaitu hingga 1 s.

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem masih aman karena frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator masih dalam kondisi aman.

4.4.9 Studi kasus 9: Empat Generator *Coal Plant* Beroperasi dengan loading category desain (112,177MW). *Short Circuit Bus 3.3V (26-MC501)* dan *load Shedding* ($t=2s$)

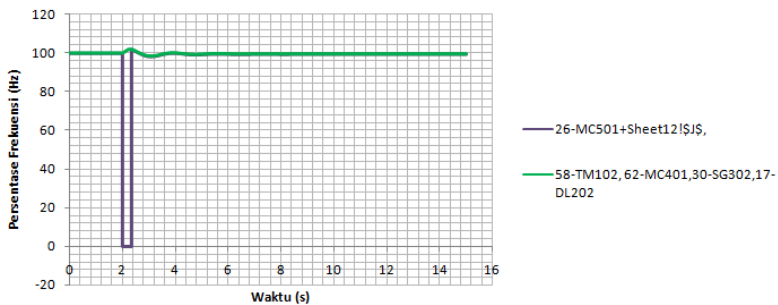
Pada kasus ini menunjukkan respon sistem ketika 4 generator *coal plant* beroperasi. Pada detik ke 2 terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus SG -302, pada detik 2.22 CB 62-TL-401 , CB 26-TL-501 , CB 50-PU-RC1, CB 50-PU-RC2, CB open dan kembali ditutup pada waktu detik ke 2.34 untuk *kliring* gangguan.

Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.25, 4.26 dan 4.27.



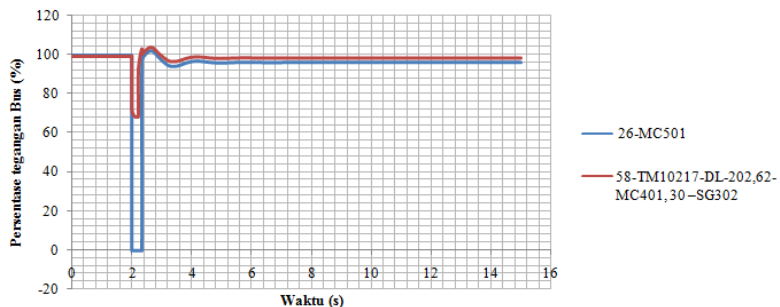
Gambar 4.25 Respon sudut rotor generator saat terjadi hubung singkat di 26-MC501 dengan *load shedding*

Pada gambar 4.19 dapat ditunjukkan perubahan sudut rotor dari generator 51-GE-TG-100, 52-GE-TG-100 , 53-GE-TG-100 dan 54-GE-TG-100, sudut rotor dari keadaan sebelumnya sebelum gangguan sebesar 7.69° menjadi 9.48° di detik 2.201 dan turun sampai 6.09° pada detik 2.421. Setelah gangguan sudut rotor kembali ke keadaan *steady state* pada sudut rotor 7.53° mulai detik 6.261.



Gambar 4.26 Respon frekuensi sistem saat terjadi hubung singkat di 26-MC501 dengan *load shedding*

Dari gambar 4.26 dapat ditunjukkan bahwa gangguan pada detik ke 2 dengan waktu iterasi simulasi 15 detik, menunjukkan respon frekuensi sistem yang ditunjukkan pada garis hijau, bus 58-TM102, 17-DL202, 30-SG302, 62-MC401 ketika terjadi gangguan, frekuensi naik sampai 102.06Hz pada detik 0.281 detik. Kemudian frekuensi turun mencapai 98.356% dan kembali ke posisi *steady state* 99.5% mulai detik 5.201. Sementara pada bus 26-MC501 respon frekuensi yang ditunjukkan pada garis ungu, respon frekuensi menurun mencapai titik terendah 0% dan kembali naik ke posisi 102.014% di detik 0.341, kemudian kembali ke posisi *steady state* pada detik 5.201 dengan frekuensi 99.5%. Respon frekuensi yang ditunjukkan bus 58-TM102, 17-DL202, 30-SG302, 26-MC501 terjadi karena sistem kehilangan beban sesaat.



Gambar 4.27 Respon tegangan sistem saat terjadi hubung singkat di 26-MC501 dengan *load shedding*

Pada Gambar 4.24 dapat ditunjukkan setelah terjadi gangguan tegangan pada masing masing bus sistem mengalami penurunan tegangan. Penurunan tegangan terbesar pada bus 26-MC501 sebesar 0% tegangan nominal bus selama 0.34 detik , dan kembali *steady state* di tegangan 100%. sedangkan pada bus 58-TM102, 17-DL202, 30-SG302, 62-MC401, tegangan turun terbesar adalah 68.08% tegangan nominal bus pada detik 2.121 s, dan kembali *steady state* di tegangan 100%, hal ini masih dalam standar voltage sagging SEMI F47 yaitu hingga 1 s. Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa sistem masih aman karena frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator masih dalam kondisi aman.

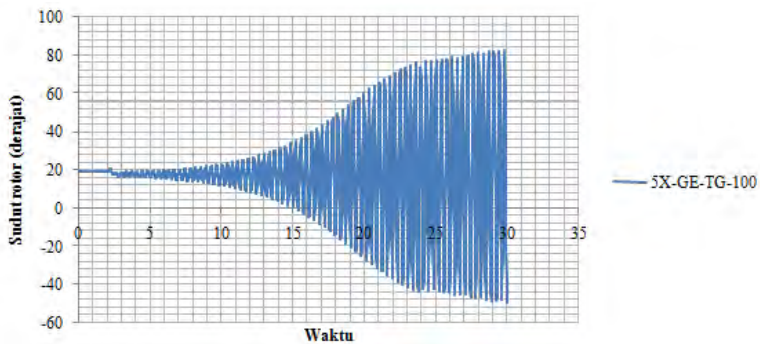
4.4.10 Studi kasus 10: Empat Generator Coal Plant Beroperasi dengan loading category desain (97,177MW - 15). Motor 15.000 kW (50-PU-M1) starting (t= 2s)

Pada kasus ini merupakan hasil simulasi *starting motor* 50-PU-M1 yang memiliki kapasitas daya serap 15000kW, saat empat unit generator *coal plant* beroperasi dengan keadaan beban kategori desain (127.177 MW – 15 MW = 97.177 MW) dilakukan *starting motor* dengan metode *direct online* (DOL), yaitu tanpa menggunakan alat bantu untuk menyalakan motor namun hanya menggunakan saklar yang langsung menghubungkan motor dengan jala-jala. Dengan waktu simulasi 30 detik terjadi gangguan di detik ke dua didapatkan empat simulasi yang menggambarkan sistem untuk menjadikan seimbang yaitu:

- a. Simulasi *starting motor* tanpa *load shedding*
- b. Simulasi Simulasi *starting motor* dengan *load shedding* 6 langkah (*load shedding* tahap 1)
- c. Simulasi Simulasi *starting motor* dengan *load shedding* 6 langkah (*load shedding* tahap 2)
- d. Simulasi Simulasi *starting motor* dengan *load shedding* 6 langkah (*load shedding* tahap 3)

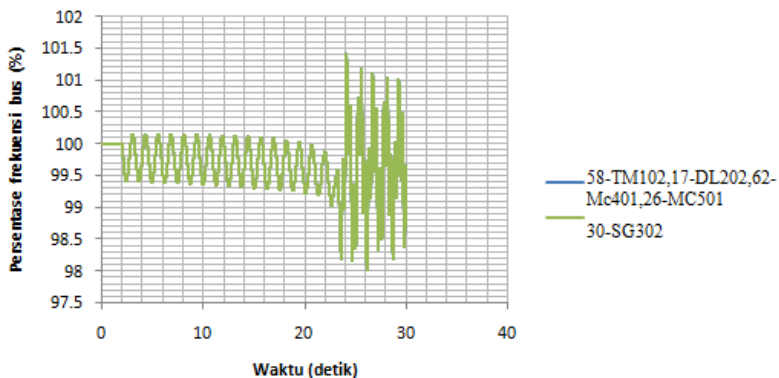
Dengan hasil simulasi yang didapatkan sebagai berikut :

A. Simulasi *starting motor* tanpa *load shedding*



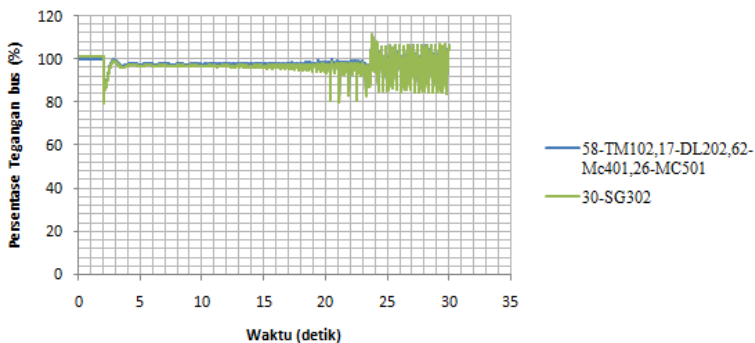
Gambar 4.28 Respon sudut rotor generator *coal plant* (5X-GE-TG-100) saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting*

Dari gambar 4.28 dapat ditunjukkan bahwa sebelum motor 50-PU-M1 *starting*, sudut rotor 5X-GE-TG-100 adalah 19.08° . Motor 50-PU-M1 distart pada 2 s, terjadi perubahan pada sudut rotor yang naik turun atau berosilasi dengan sudut rotor terbesar pada detik ke 24.32 s sebesar 78.98° . Meskipun sudut rotor tidak menunjukkan penyimpangan yang besar, namun belum mampu untuk stabil pada sudut tertentu.



Gambar 4.29 Respon frekuensi sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting*

Dari gambar 4.29 dapat ditunjukkan respon frekuensi dari *starting* motor 50-PU-M1. Frekuensi sistem menunjukkan ketidakstabilan saat *starting motor* 50-PU-M1. Setelah detik ke dua atau saat motor mulai *dstarting* terjadi ayunan dengan frekuensi terendah 99.4% dan frekuensi tertinggi 100.7. Setelah detik 22.541 frekuensi sistem mengalami osilasi fluktuatif dengan tirik terendah 98.4 % atau 49.2 Hz pada detik 25.082 dan frekuensi tertinggi 101.715% atau 50.85 Hal ini disebabkan oleh daya mekanik turbin tidak mampu memberikan suplai daya elektrik. Arus LRC (*locked rotor current*) dari motor 50-PU-M1 adalah 6.5 kali arus nominalnya. Dapat disimpulkan bahwa frekuensi sistem tidak stabil dan beroperasi pada nilai yang tidak diijinkan dalam kasus ini. Menurut standar pelepasan beban 6 langkah minimal frekuensi 99.16% atau 49.58 sehingga perlu dilakukan pelepasan beban.



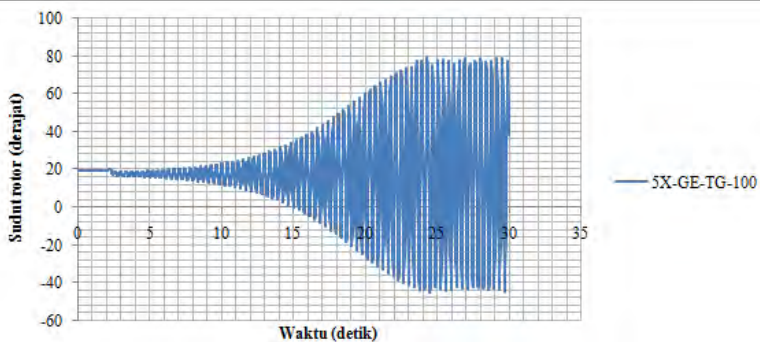
Gambar 4.30 Respon tegangan sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting*

Dari gambar 4.30 dapat dilihat respon tegangan dari bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401 dengan kurva berwarna biru, dan bus 30-SG302 berwarna hijau. Sebelum motor di start, tegangan di bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401 adalah 99.98% sementara di bus 30-SG302 adalah 101%. Saat motor mulai di start pada detik ke 2, tegangan di bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401 turun hingga mencapai 84% dan di bus 30-SG302 turun hingga mencapai 80%. Pada detik ke 3.01 tegangan di seluruh bus naik hingga mencapai nilai stabil di kisaran 98.8% hingga jatuh mengalami osilasi pada detik ke 23.461 dengan tegangan terendah 89.% pada bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401 dan

bus 30-SG302 sebesar 90%. Tegangan osilasi tertinggi pada detik 23.781 dimana tegangan diseluruh sistem bus mencapai 111%. Dari hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa tegangan beroperasi dalam keadaan yang tidak direkomendasikan.

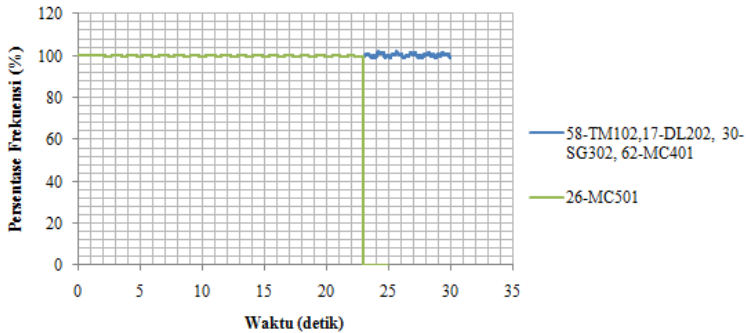
Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa perlu dilakuan pelepasan beban untuk mengembalikan sistem agar stabil.

B. Simulasi Simulasi *starting motor* dengan *load shedding* 6 langkah (*load shedding* tahap 1)



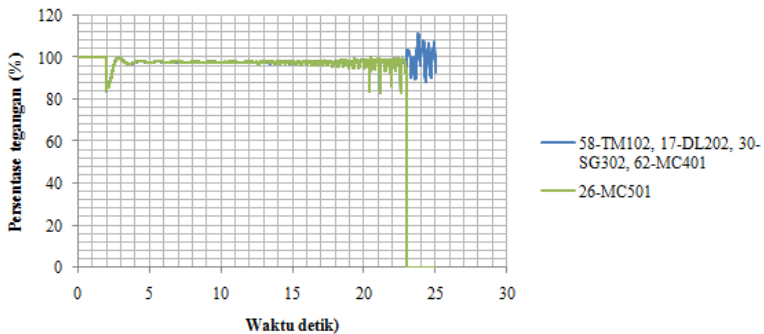
Gambar 4.31 Respon sudut rotor generator *coal plant* (5X-GE-TG-100) saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting* dengan *load shedding* tahap 1

Dari gambar 4.31 dapat ditunjukkan bahwa sebelum motor 50-PU-M1 *starting*, sudut rotor 5X-GE-TG-100 adalah 19.08° . Motor 50-PU-M1 distart pada 2 s, terjadi perubahan pada sudut rotor yang naik turun atau berosilasi dengan sudut rotor terbesar pada detik ke 23.432 s sebesar 78.98° . Meskipun sudut rotor tidak menunjukkan penyimpangan yang besar, namun belum mampu untuk stabil pada sudut tertentu.



Gambar 4.32 Respon frekuensi sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting* dengan *load shedding* tahap 1

Dari gambar 4.32 dapat ditunjukkan respon frekuensi dari *starting* motor 50-PU-M1. Frekuensi bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401, 30-SG302 kurva warna biru, sementara bus 26-MC501 berwarna hijau. Kurva menunjukkan ketidakstabilan saat *starting motor* 50-PU-M1 setelah dilakuakn pelepasan beban 6 langkah tahap satu. Setelah detik ke dua atau saat motor mulai *distarting* terjadi ayunan dengan frekuensi terendah 99.4% dan frekuensi tertinggi 100.7 selama 21 detik. Setelah detik 22.541 frekuensi sistem mengalami osilasi fluktuatif dengan tirik terendah 98.4 % atau 49.2 Hz pada detik 25.082. Dilakukan pelepasan beban 6 langkah tahap 1 dengan acuan frekuensi minimum sebesar 99.16% maka didapatkan waktu pelepasan pencapaian $99.16\% + 6 \text{ cycle} = 22.821 + 0.12 = 22.941$ detik dengan beban yang dilepas 10% dari total beban sistem. Respon frekuensi sistem masih mengalami osilasi setelah pelepasan beban di detik 22.941 dengan frekuensi minimum sebesar 98.4% atau 49.2 pa da detik 25.082 dan frekuensi tertinggi sebesar 101.745% atau 50.87 Hz pada detik 25.661. Dapat disimpulkan bahwa frekuensi sistem tidak stabil dan beroperasi pada nilai yang tidak diijinkan dalam kasus ini. Menurut standar pelepasan beban 6 langkah tahap dua minimal frekuensi 98.6% atau 49.3 sehingga perlu dilakukan pelepasan beban tahap dua.

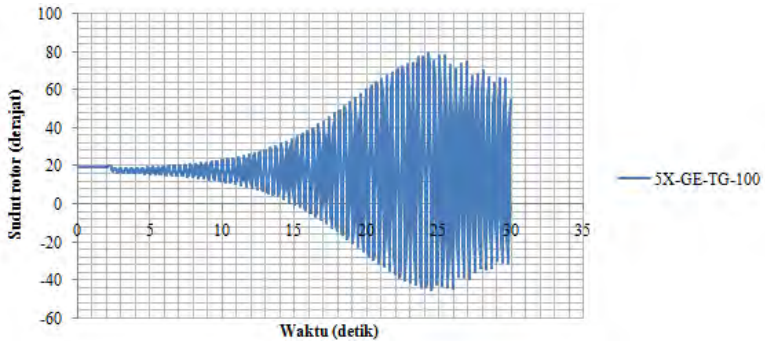


Gambar 4.33 Respon tegangan sistem) saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting* idenga load shedding tahap 1

Dari gambar 4.33 dapat dilihat respon tegangan dari bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401 dengan kurva berwarna biru, dan bus 30-SG302 berwarna hijau. Sebelum motor di start, tegangan di bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401 adalah 99.98% sementara di bus 30-SG302 adalah 101% .Saat motor mulai di start pada detik ke 2, tegangan di bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401 turun hingga mencapai 84% dan di bus 30-SGS302 turun hingga mencapai 80%. Pada detik ke 3.01 tegangan di seluruh bus naik hingga mencapai nilai stabil di kisaran 98.8% hingga jatuh mengalami osilasi pada detik ke 22.941 setelah terjadi pelepasan beban tahap 1 dengan tegangan terendah 89.% pada bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401 dan bus 30-SG302 sebesar 90%, sementara bus 26-MC501 dilepas dari sistem yang merupakan bagian dari skema pelepasan. Tegangan osilasi tertinggi pada detik 23.782 dimana tegangan diseluruh sistem bus mencapai 111.143%. Dari hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa tegangan beroperasi dalam keadaan yang tidak direkomendasikan.

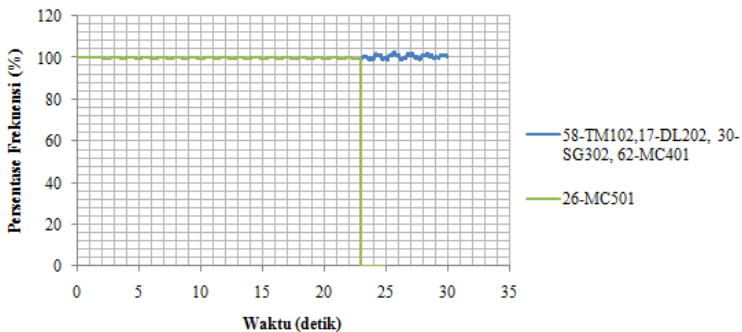
Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa perlu dilakuan pelepasan beban untuk mengembalikan sistem agar stabil.

C. Simulasi Simulasi *starting motor* dengan *load shedding* 6 langkah (*load shedding* tahap 2)



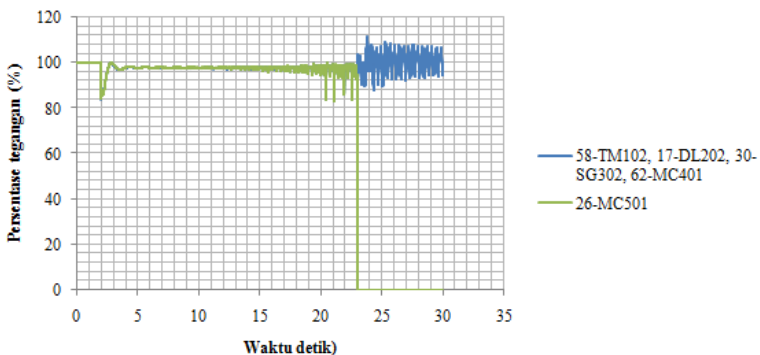
Gambar 4.34 Respon sudut rotor generator *coal plant* (5X-GE-TG-100) saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting* dengan *load shedding* tahap 2

Dari gambar 4.34 dapat ditunjukkan bahwa sebelum motor 50-PU-M1 *starting*, sudut rotor 5X-GE-TG-100 adalah 19.08° . Motor 50-PU-M1 distart pada 2 s, terjadi perubahan pada sudut rotor yang naik turun atau beresilasi dengan sudut rotor terbesar pada detik ke 24.342 s sebesar 78.98° . Meskipun sudut rotor tidak menunjukkan penyimpangan yang besar, namun belum mampu untuk stabil pada sudut tertentu.



Gambar 4.35 Respon frekuensi sistem *coal plant* saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting* dengan *load shedding* tap 2

Dari gambar 4.35 dapat ditunjukkan respon frekuensi dari *starting* motor 50-PU-M1. Frekuensi bus 58-TM102, 17-DL202, 62-MC401, 30-SG302 kurva warna biru, sementara bus 26-MC501 berwarna hijau. Kurva menunjukkan ketidakstabilan saat *starting motor* 50-PU-M1 setelah dilakuakn pelepasan beban 6 langkah tahap dua. Setelah detik ke dua atau saat motor mulai *distarting* terjadi ayunan dengan frekuensi terendah 99.4% dan frekuensi tertinggi 100.7 selama 21 detik. Setelah detik 22.541 frekuensi sistem mengalami osilasi fluktuatif dengan tirik terendah 98.4 % atau 49.2 Hz pada detik 25.082 Dilakukan pelepasan beban 6 langkah tahap dua dengan acuan frekuensi minimum sebesar 98.6% atau 49.3 Hz maka didapatkan waktu pelepasan pencapaian $98.6\% + 6 \text{ cycle} = 25.042 + 0.12 = 25.162$ detik dengan beban yang dilepas 10% dari sisa total beban sistem. Respon frekuensi sistem masih mengalami osilasi setelah pelepasan beban di detik 25.1942 dengan frekuensi minimum sebesar 98.4% atau 49.2 pada detik 25.482 dan frekuensi tertinggi sebesar 101.722% atau 50.87 Hz pada detik 26.763. Sementara bus 26-MC501 dilepas dari sistem yang merupakan bagian dari skema pelepasan Dapat disimpulkan bahwa frekuensi sistem tidak stabil dan beroperasi pada nilai yang tidak diijinkan dalam kasus ini. Menurut standar pelepasan beban 6 langkah tahap dua minimal frekuensi 98.6% atau 49.3 sehingga perlu dilakukan pelepasan beban tahap tiga.

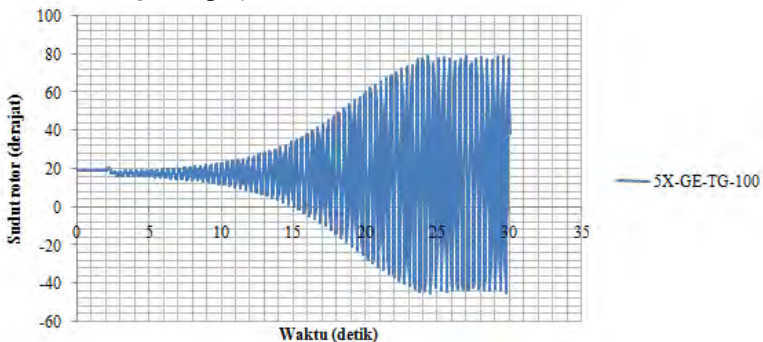


Gambar 4.36 Respon tegangan sistem *coal plant* saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting* denga *load shedding* tahap 2

Dari gambar 4.36 dapat dilihat respon tegangan dari bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401, 30-SG302 dengan kurva berwarna biru, dan bus 26-MC401 berwarna hijau. Sebelum motor di start, tegangan di bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401 adalah 99.98% sementara di bus 30-SGS302 adalah 101%. Saat motor mulai di start pada detik ke 2, tegangan di bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401 turun hingga mencapai 84% dan di bus 30-SG302 turun hingga mencapai 80%. Pada detik ke 3.01 tegangan di seluruh bus naik hingga mencapai nilai stabil di kisaran 98.8% hingga jatuh mengalami osilasi pada detik ke 23.941 setelah terjadi pelepasan beban tahap dua dengan tegangan terendah 89.% pada detik 23.582 pada bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401 dan bus 30-SG302 sebesar 90%, sementara tegangan minimum pada bus 26-MC501 0% ketika dilepas dari sistem yang merupakan bagian dari skema pelepasan. Tegangan osilasi tertinggi pada detik 23.782 dimana tegangan diseluruh sistem bus mencapai 111.143%. Dari hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa tegangan beroperasi dalam keadaan yang tidak direkomendasikan.

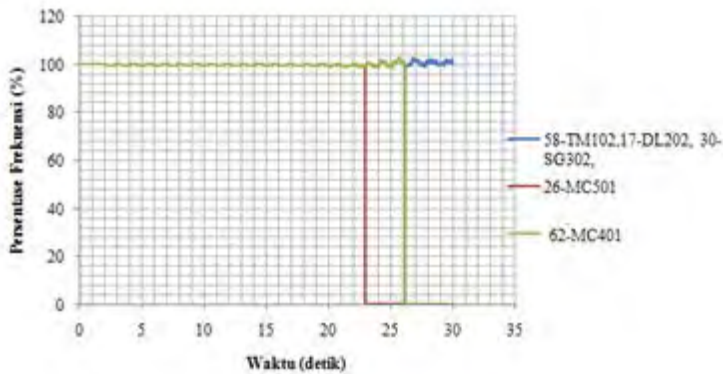
Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa perlu dilakuan pelepasan beban untuk mengembalikan sistem agar stabil.

D. Simulasi Simulasi *starting motor* dengan *load shedding* 6 langkah (*load shedding* tahap 3)



Gambar 4.37 Respon sudut rotor generator *coal plant* (5X-GE-TG-100) saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting* dengan *load shedding* tahap 3

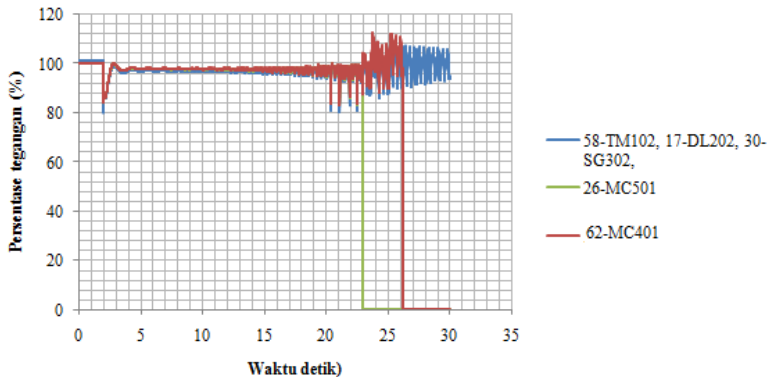
Dari gambar 4.37 dapat ditunjukkan bahwa sebelum motor 50-PU-M1 *starting*, sudut rotor 5X-GE-TG-100 adalah 19.08°. Motor 50-PU-M1 distart pada 2 s, terjadi perubahan pada sudut rotor yang naik turun atau berosilasi dengan sudut rotor terbesar pada detik ke 24.342 s sebesar 78.98°. Meskipun sudut rotor tidak menunjukkan penyimpangan yang besar, namun belum mampu untuk stabil pada sudut tertentu.



Gambar 4.38 Respon frekuensi sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting* dengan *load shedding* tahap 3

Dari gambar 4.38 dapat ditunjukkan respon frekuensi dari *starting* motor 50-PU-M1. Frekuensi bus 58-TM102, 17-DL202, , 30-SG302 kurva warna biru, sementara bus 26-MC501 berwarna merah dan bus 62-MC401 berwarna hijau. Kurva menunjukkan ketidakstabilan saat *starting motor* 50-PU-M1 setelah dilakukn pelepasan beban 6 langkah tahap tiga. Setelah detik ke dua atau saat motor mulai distarting terjadi ayunan dengan frekuensi terendah 99.4% dan frekuensi tertinggi 100.7 selama 21 detik. Setelah dilakukan pelepasan beban 6 langkah tahap tiga dengan acuan frekuensi minimum sebesar 98% atau 49.3 Hz dengan waktu pelepasan pencapaian $98\% + 6 \text{ cycle} = 26.103 + 0.12 = 26.203$ detik dan beban yang dilepas 5% dari sisa total beban sistem. Respon frekuensi sistem bus 58-TM102, 17-DL202, , 30-SG302 berosilasi dengan frekuensi minimum sebesar 98.6% atau 49.3 pada detik 25.062 dan frekuensi maksimum sebesar 101.9 atau 50.5 Hz sementara bus 26-MC501 mengikuti skema pelepasan beban tahap satu dan dua dimana kondisi akan nol persen ketika dilepas dari sistem.

Untuk bus 62-MC401 lepas dari sistem pada detik 26.203 yang merupakan bagian dari skema pelepasan beban tahap ketiga. Dengan demikian sistem dapat dikatakan stabil.



Gambar 4.39 Respon tegangan sistem saat terjadi motor 50-PU-M1 *starting* dengan *load shedding* tahap 3

Dari gambar 4.36 dapat dilihat respon tegangan dari bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401, sementara bus 26-MC501 berwarna hijau dan bus 62-MC401 berwarna merah. Sebelum motor di start, tegangan di bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401 adalah 99.98% sementara di bus 30-SG302 adalah 101%. Saat motor mulai di start pada detik ke 2, tegangan di bus 58-TM102, 17-DI202, 62-MC401 turun hingga mencapai 84% dan di bus 30-SGS302 turun hingga mencapai 80%. Pada detik ke 3.01 tegangan di seluruh bus naik hingga mencapai nilai stabil di kisaran 98.8% hingga jatuh mengalami osilasi pada detik ke 23.941 setelah terjadi pelepasan beban tahap tiga dengan tegangan terendah 0% pada detik 22.941 pada bus 26-MC501, detik 26.203 pada bus 62-MC401. Sementara pada bus 58-TM102, 17-DI202, dan bus 30-SG302 tegangan minimal sebesar 90.5% pada detik 26.904 tegangan tertinggi setelah pelepasan beban tahap ketiga sebesar 107.038 pada detik 26.404.

Dari hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa tegangan beroperasi dalam keadaan yang dapat ditoleransi. Dari data diatas dapat disimpulkan sistem stabil dengan total pelepasan beban sebesar

$$LS 1 + LS2 + LS 3 = 11.325 + 10.871 + 4.222 = 26.418 \text{ MW.}$$

BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

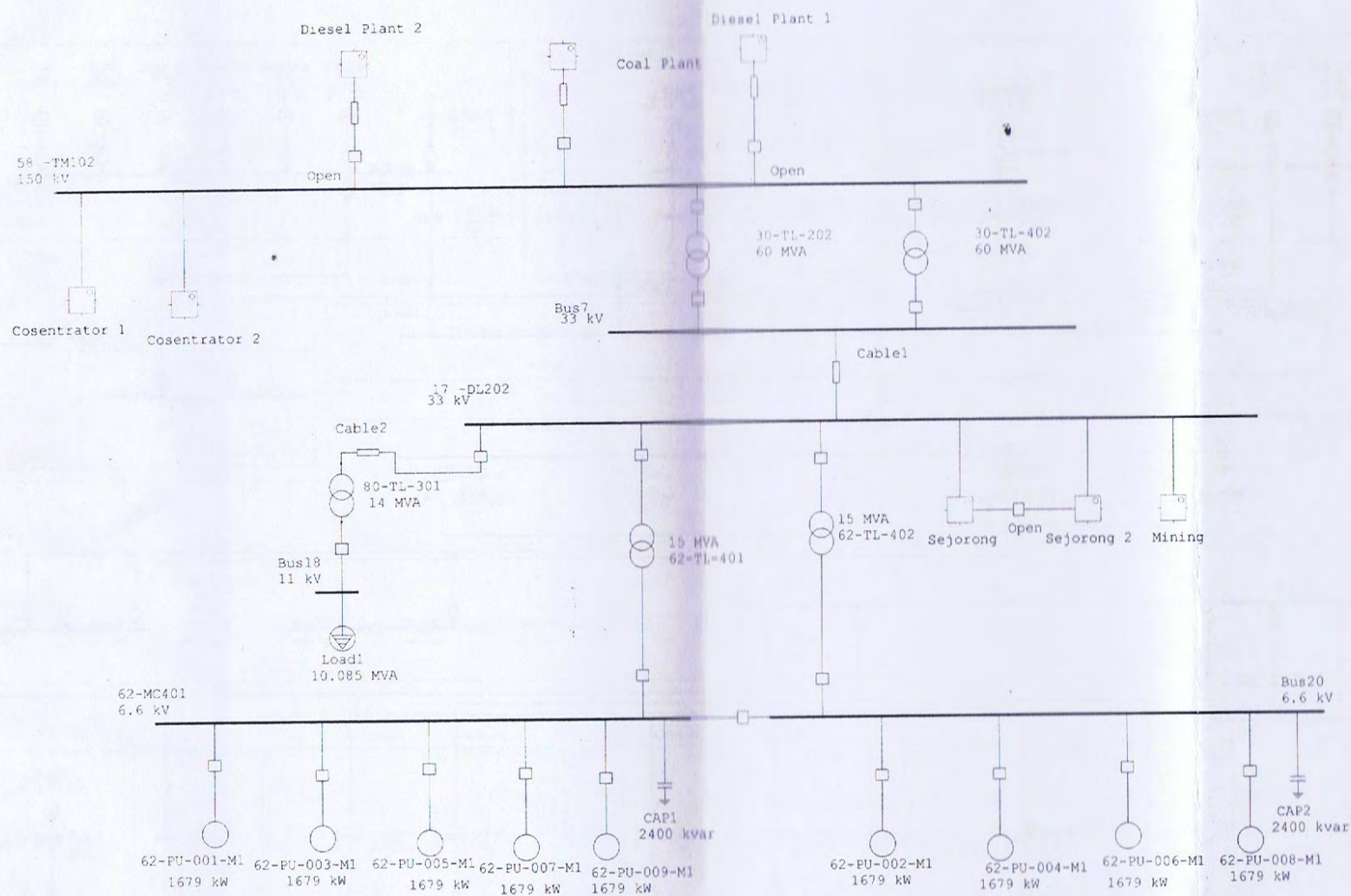
- Lepasnya generator kasus satu dan dua, mengakibatkan sistem tidak stabil. Untuk mengembalikan kestabilan sistem, untuk lepasnya satu generator memerlukan pelepasan beban 1 tahap dan untuk lepasnya dua generator memerlukan pelepasan beban 3 tahap.
- Pada kasus hubung singkat di level tegangan 150 kV, 11kV, 6.6 kV dan 3.3 kV (bus di bawah generator) mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil. Untuk mengembalikan kestabilan sistem memerlukan pelepasan beban sesaat dengan durasi pelepasan 6 *cycle* sudah dapat mengembalikan sistem menjadi stabil.
- Pada kasus hubung singkat di level tegangan 33 kV (bus di bawah generator) mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil. Untuk mengembalikan kestabilan sistem memerlukan pelepasan beban status.
- Pada kasus *starting motor* dengan metode *starting motor direct online* di DOL, mengakibatkan sistem tidak stabil. Untuk mengembalikan kestabilan sistem memerlukan pelepasan beban 3 tahap dari standar pelepasan 6 langkah.

5.2 SARAN

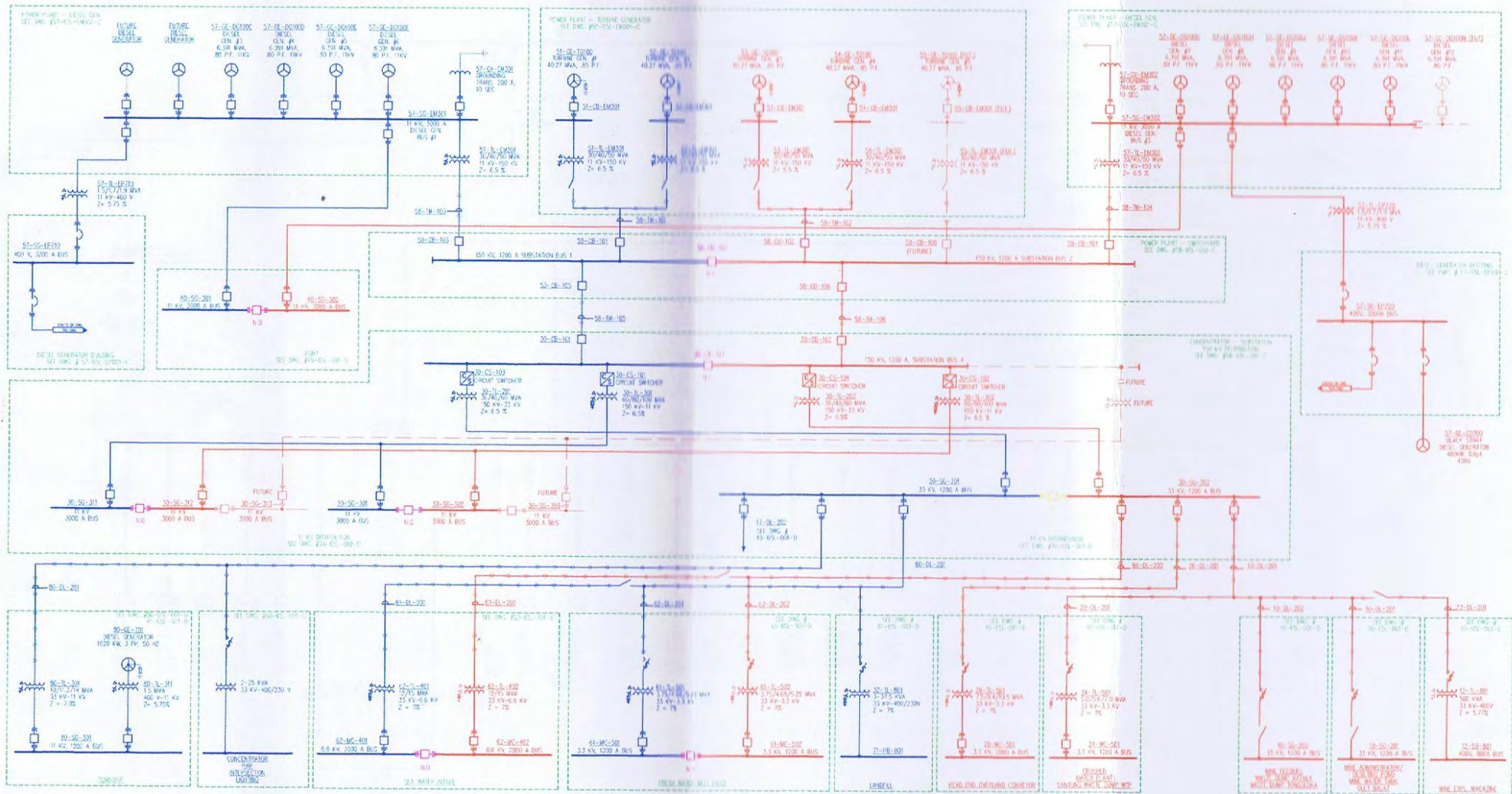
Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan setelah melakukan analisis adalah sebagai berikut :

- Untuk kasus lepasnya 1 generator diperlukan pelepasan beban hingga 11.053 MW dari total beban (112.177 MW) untuk menyeimbangkan pembangkitan dan beban
- Untuk kasus lepasnya 2 generator diperlukan pelepasan beban hingga 3 tahap dengan melepas 42.669 MW dari total beban (112.177 MW) untuk menyeimbangkan pembangkitan dan beban
- Metode starting motor DOL tidak disarankan untuk dilakukan karena perlu melakukan pelepasan beban tiga tahap dengan metode pelepasan beban enam langkah dengan total beban dilepas 26.418MW dari total beban sistem.

Line Diagram - OLV1 (Transient Stability Analysis)



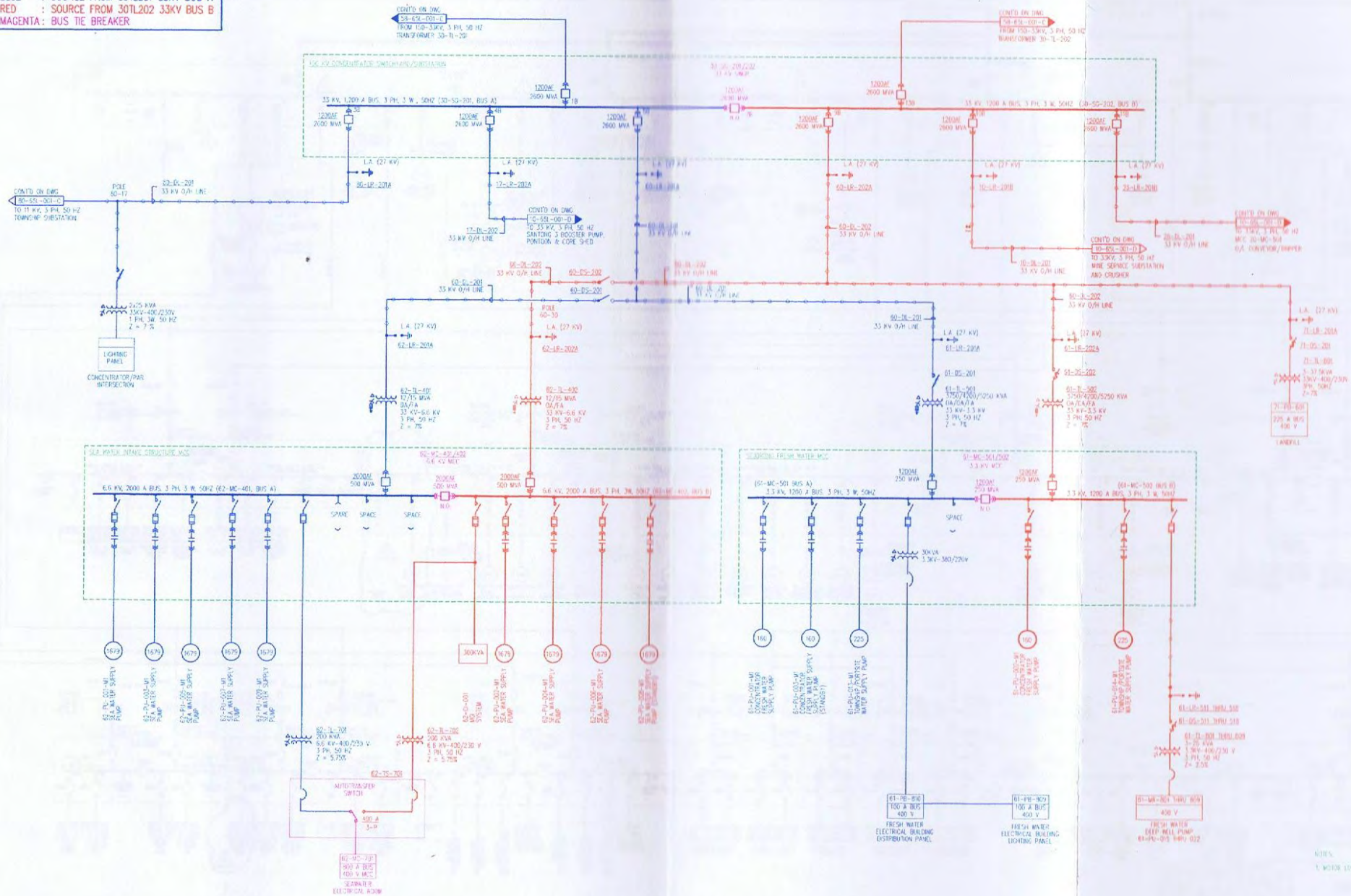
COLOR LEGEND:
 BLUE : SOURCE FROM BUS A
 RED : SOURCE FROM BUS B
 MAGENTA: BUS TIE BREAKER

[illegible]

PROCESS MAINTENANCE ELECTRICAL

DESIGNED BY	DATE	<p style="text-align: center;">POWER DISTRIBUTION OVERALL 150 KV ONE LINE DIAGRAM</p>		
CHECKED BY	DATE			
DESIGNED BY	DATE			
REVIEWED BY	DATE			
APPROVED BY	DATE			
ONE REVISION	DATE	DATE	REVISION	REV.
NONE		00-EL-0001	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0</div>	

COLOR LEGEND:
 BLUE : SOURCE FROM 30TL201 33KV BUS A
 RED : SOURCE FROM 30TL202 33KV BUS B
 MAGENTA : BUS TIE BREAKER



DATE	REVISION DESCRIPTION	BY	CK	AP	KEY	DATE	REVISION DESCRIPTION	BY	CK	AP	DWG NO.	REFERENCE DRAWING
11/05/00	UPDATE AS-BUILT DRAWING	KF	ESL								30-EL-001-REV3	CONCENTRATOR POWER DIST. - OVERALL 33 KV OL DIAG

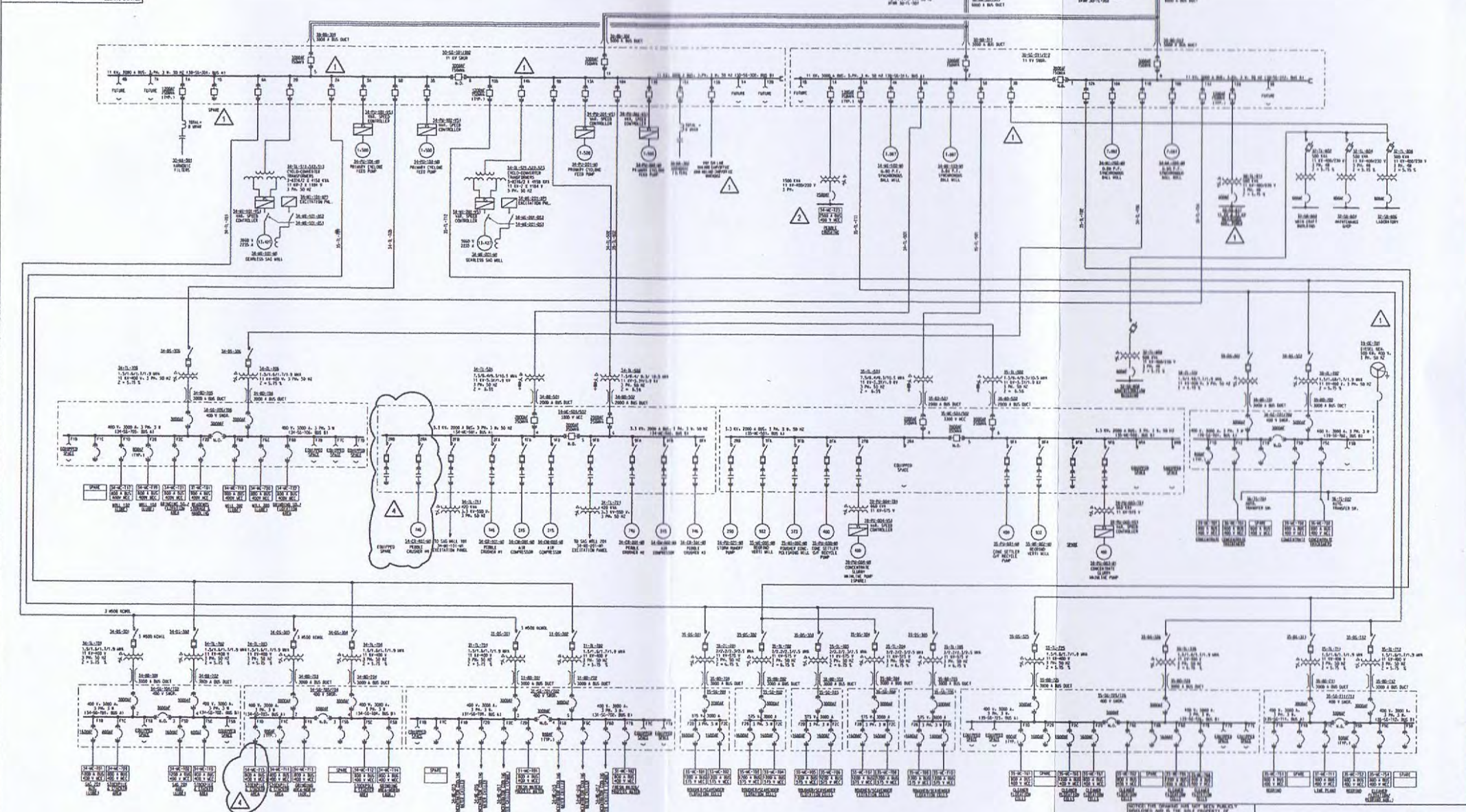


DATE	BY	CHK	APP
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	

DATE	BY	CHK	APP
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	
11/05/00	KF	ESL	

CONCENTRATOR
 POWER DISTRIBUTION
 OVERALL 33 KV ONE LINE DIAGRAM

30-EL-0001



REV.	DATE	REVISION DESCRIPTION	BY	CHKD	APPROVED	DATE	REVISION DESCRIPTION	BY	CHKD	APPROVED	DATE	REFERENCE DRAWINGS
1	20/07/09	ISSUED FOR INTERNAL REVIEW	AE	AE		21.7.09	REVISED FOR PERMIT DESIGN UPGRADE PHASE 2	AE	AE		21.7.09	30-65L-001-D
2	12/07/09	ISSUED FOR CLIENT APPROVAL	AE	AE		18.12.02	REVISED 34-KV-001/002 FOR PERMIT DESIGN IN A SCHEMATIC PROJECT	AE	AE		18.12.02	30-65L-004-D
3	16/05/09	NOTIFIED FOR CLIENT APPROVAL	EA	AE		24.1.03	PERMIT DESIGN 4 & SCHEMATIC PROJECT, ADDED FEEDER TO 34-KV-115	EA	AE		24.1.03	
4	16/05/09	ISSUED FOR DESIGN	EA	AE				EA	AE			
5	21/11/09	ISSUED FOR CONSTRUCTION	EA	AE				EA	AE			
6	12/02/09	OWNER TAG AS RESULT	AE	AE				AE	AE			

BATU HIJAU
PTNNT

FLUOR DANIEL
MINING AND METALS SUNGAI, N.T.S., P.J.

CONCENTRATOR
POWER DISTRIBUTION
OVERALL
11 KV ONE LINE DIAGRAM

30-65L-002-D